CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS
(C.R.T.)
CENTRE FOR RESEARCH
ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

MÉMOIRE D'ÉTUDIANT

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
C.P. 6128, SUCCURSALE A,
MONTRÉAL
CANADA H3C 3J7

TÉLÉPHONE: (514) 343-7575
TÉLEX: 05-24146 BIBPOLYTEC
EMAIL: crt@crt.umontreal.ca
TÉLÉCOPIEUR (FAX): (514) 343-7121

CRT-726

CONSTRUCTION D'UN MODÈLE POUR LE TRANSPORT DES MARCHANDISES DANGEREUSES PAR CAMION

par

Olfa N. Ghali*

* Mémoire de maîtrise, département de sciences économiques, Université de Montréal, dirigé par Georges Dionne.

Centre de recherche sur les transports - Publication #726

Octobre 1990

91-00969/

Dépôt légal - 4e trimestre 1990

Sommaire

Ce mémoire est un préliminaire pour la construction d'un modèle bénéfice / risque (économique) sur le transport des marchandises dangereuses.

Le but est de bien comprendre les fondements du problème du transport des matières dangereuses. En particulier, nous introduisons dans un modèle des variables qui définissent la relation d'arbitrage entre le bénéfice et le risque du transport des matières dangereuses et nous analysons l'effet de leurs variations les unes par rapport aux autres. Nous abordons l'effet de l'inefficacité engendrée par les externalités sur les choix optimaux individuels des variables de décision importantes et, enfin, nous proposons des réglementations gouvernementales succeptibles de contrer ces inefficacités.

Mots-clés : Transport marchandises dangereuses, risque, réglementation, modèle de choix de parcours, externalités.

TABLE DES MATIERES

PAGES

SOMMAIRE----------i

TABLE DES MATIERES----------ii

REMERCIEMENTS----------vi

INTRODUCTION----------1

I)-APERCU HISTORIQUE, CADRE LEGISLATIF CANADIEN ET QUELQUES STATISTIQUES----------4

*1)-Aperçu historique----------4

*2)Législation----------6

*3)-Statistiques----------7

II)-ELABORATION DU MODELE BENEFICE-RISQUE----------13

*1)-Les conditions du premier ordre----------18

*2)-Les conditions du second ordre----------21

*3)-Modèle de choix de parcours----------27

*4)-Impact des variables de risque sur les activités propres de l'individu----------28

III)-EXTERNALITES ET ALLOCATION OPTIMALE DES RESSOURCES-----34

*1)-Introduction----------34

*2)-Effet des externalités sur les solutions optimales du modèle de base----------35

*3)-Formulation du modèle en tenant compte des externalités----------40

*4)-Règlementations et allocations optimales des ressources----------48

*5)-Correction de l'inefficacité due aux externalités----------53

IV)-REVUE DE LA LITTERATURE POUR L'EVALUATION DU RISQUE ET LA SELECTION DES PARCOURS OPTIMAUX CONCERNANT LE TRANSPORT DES MARCHANDISES DANGEREUSES----------60

*1)-Les méthodes d'estimation du risque----------60

*2)-Description de la méthode de sélection de parcours pour le transport des marchandises dangereuses utilisée par Transports Canada, (1987)----------72

*3)Développement d'un modèle Risque/Coût pour le transport des marchandises dangereuses (Mark Abkowitz et Paul Der Ming Cheng, 1988)----------76

CONCLUSION----------84

ANNEXE----------86

BIBLIOGRAPHIE----------87

LISTE DES FIGURES

-Chapitre I

*Figure I.1 : accidents par classe de marchandises dangereuses----------8

*Figure I.2 : accidents par mode de transport----------9

*Figure I.3 : accidents par facteur déterminant----------10

*Figure I.4 : accidents reliés aux marchandises dangereuses par province, années financières: 1987-1988 et 1988-1989----------12

-Chapitre II

*Figure II.1 : représentation graphique de la fonction d'utilité considérée----------17

*Figure II.2 : représentation graphique du niveau optimal d'autoprotection----------19

*Figure II.3 : représentation graphique du niveau optimal de la vitesse----------20

*Figure II.4 : représentation de la probabilité d'accident en fonction des activités d'autoprotection----------25

*Figure II.5 : représentation de la richesse marginale en fonction des probabilités spécifiques des parcours----------26

*Figure II.6 : représentation graphique de l'impact de l'augmentation de la vitesse sur le niveau optimal des activités d'autoprotection----------29

*Figure II.7 : représentation graphique de l'impact de l'augmentation du niveau des activités d'autoprotection sur la vitesse----------30

-Chapitre III

*Figure III.1 : équilibre d'une entreprise dont l'activité engendre un coût externe--38

*Figure III.2 : relation d'arbitrage entre l'espérance d'utilité de l'individu exposé aux effets des accidents reliés au transport des marchandises dangereuses et l'espérance d'utilité de l'entreprise qui transporte ces marchandises----------43

*Figure III.3 : solutions optimales des activités d'autoprotection et de la vitesse lorsqu'on tient compte des externalités----------46

*Figure III.4 : nombre de voyage socialement optimal----------58

LISTE DES TABLEAUX

*Tableau I.1 : mortalités dues aux marchandises dangereuses par année financière----------10

*Tableau I.2 : blessures dues aux marchandises dangereuses par année financière----------11

Remerciements

Je tiens à exprimer ma reconnaissance la plus vive à M. Georges Dionne, mon directeur de recherche, dont l'encadrement, la gentillesse, l'aide financière ainsi que les précieux conseils, m'ont permis de mener à terme ce mémoire.
Son enseignement et sa méthode de travail ont été un enrichissement et un exemple pour moi.

Je remercie la Faculté des Etudes Supérieures de L'Université de Montréal de m'avoir sélectionnée pour m'attribuer la bourse de la fondation Berthelet-Aubin, qui m'a permi de mieux me concentrer sur la rédaction de mon mémoire. Cette recherche a également été financée en partie par le CRSH du Canada et a été réalisé au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal.

Et enfin, je voudrais aussi remercier Sofiane Ghali pour ses encouragements et son soutien moral qui ont beaucoup aidé dans la finition de ce travail.

A mes parents avec toute mon affection et reconnaissance.

INTRODUCTION

Le transport des matières dangereuses et les problèmes relatifs à leur déversement sont des sujets d'actualité et ceci est dû à la gravité des accidents et des conséquences qui leurs sont reliées comme les explosions et les déversements qui peuvent affecter aussi bien à court terme qu'à long terme la santé des individus et l'environnement (exemples, pertes de vie humaine, maladies incurables comme le cancer).

Avant d'aller plus loin, il me parait important de définir ce qu'on entend par matières dangereuses. Cheng Der Ming (1988) définit comme matière dangereuse toute substance pouvant être sous forme de liquide inflammable, solide inflammable, liquide corosif, gaz comprimé, substance toxique, substance radioactive ou explosive.

Plusieurs organismes se sont intéressés à ce sujet pour assurer la sécurité routière dont Transports Canada qui a mis en place une méthode séquentielle pour le calcul du risque basée sur des méthodes empiriques pour sélectionner le parcours le moins risqué.

Certaines de ces études se sont surtout intéressées à des localisations spécifiques, ou à des matières premières spécifiques et donc ne sont pas opérationnelles pour des cas plus généraux. Par ailleurs d'autres utilisent des données restreintes ou font abstraction de l'incertitude reliée à ces données. La plupart de ces études visent la réalisation d'un seul objectif comme la minimisation du coût du transport, la minimisation de la distance ou la minimisation du risque. Les

méthodes de minimisation du risque bien qu'ayant réussi a diminuer le risque ont engendré des coûts par suite de la mise en place de bureaucraties.

Le but de ce travail est de présenter un modèle économique de choix de parcours pour le transport des matières dangereuses mettant en relief la relation d'arbitrage entre la maximisation des bénéfices et la minimisation du risque relié aux choix de parcours. Cependant la satisfaction de ces deux objectifs simultanément est difficile à faire et, d'après l'expérience, il a été démontré que le parcours le plus rapide est souvent accompagné d'une probabilité d'accident plus élevée (risque plus élevé).

Il est cependant important de noter que si on considère chacun des deux objectifs pris séparément, la méthode basée sur la minimisation du risque est plus efficace que celle qui est basée sur la minimisation de la distance (voir l'annexe pour les résultats d'une étude comparative des deux méthodes faite par Kessler).

Les variables sélectionnées pour caractériser le bénéfice dégagé du modèle sont:

- Les activités d'autoprotection de l'individu i conduisant le camion: X_i.
- La vitesse atteinte par l'individu i sur le parcours: Y_i.
- Une variable de risque du parcours j : y_j.
- Et une autre variable qui est en même temps une variable relative aux parcours et une variable de protection gouvernementale q_j.

La deuxième partie du mémoire est consacrée à l'élaboration du modèle suggéré. Cette partie se détaille en trois sous-sections composées de la description du modèle de base, de la description du modèle du choix du parcours et des effets des variables de risque sur les activités propres à l'individu.

La troisième partie est consacrée à étendre le modèle aux externalités et à analyser les réglementations gouvernementales existantes afin de remédier aux inefficacités engendrées par ces externalités.

Enfin, la dernière partie de ce mémoire va être consacrée à une revue de la littérature des méthodes utilisées pour estimer le risque et pour la sélection des parcours optimaux pour le transport des marchandises dangereuses avec une attention particulière à la méthode utilisée par "Transports Canada" (1987) dont certaines insuffisances nous ont inspiré le modèle que nous proposons. Nous discutons également de la méthode utilisée par les ingénieurs Abkowitz et Der Ming Cheng (1988).

Mais avant nous préférons commencer par donner un aperçu historique, par définir le cadre législatif relatif au transport des marchandises dangereuses au Canada et donner quelques statistiques.

I)-APERÇU HISTORIQUE, CADRE LEGISLATIF CANADIEN ET QUELQUES STATISTIQUES

1)-APERÇU HISTORIQUE

La loi sur le transport des marchandises dangereuses a été promulguée en 1980 en vue d'accroître la sécurité publique en matière de transport des marchandises dangereuses. Avant 1980 les marchandises dangereuses et leur transport étaient régis par un certain nombre de lois fédérales et provinciales différentes qui étaient appliquées de façon indépendante. De plus, la manutention, l'entreposage et le contrôle de diverses marchandises dangereuses relevaient d'un grand nombre d'autres lois.

Une étude intergouvernementale sur la réglementation du transport routier en 1972 a conclu que les marchandises dangereuses étaient très mal réglementées. Vers la fin de 1973 le ministère fédéral des Transports a décidé de prendre des mesures sérieuses pour remédier à cette situation.

C'est ainsi qu'en 1975 on a vu apparaître le Secrétariat des marchandises dangereuses composé de quatre personnes qui avaient pour activité de rédiger des projets de réglements qui seraient édictés en vertu de lois existantes.

En 1977, le secrétariat est devenu la Direction du transport des marchandises dangereuses et était doté d'un personnel de 19 personnes réparties en trois groupes : Normes et législation, Evaluation des normes et analyse des statistiques, et Opérations.

En mai 1978, le projet de loi C-53 a été déposé à la chambre des communes et le premier novembre 1980, une loi visant à accroitre la sécurité publique en matière de transport des marchandises dangereuses a été proclamée.

En 1979, le centre d'intervention d'urgence CANUTEC a commencé ses opérations vingt quatre heures par jour en offrant un service d'information sur les produits chimiques et la réglementation, des conseils au personnel d'intervention d'urgence sur les propriétés et les dangers des produits chimiques et en recommandant les mesures correctives à prendre, les vêtements de protection à porter et les premiers soins à donner ...etc .

Vers le milieu de 1983, la direction est devenue une direction générale avec l'autorisation de se doter d'un personnel de 60 personnes.

Deux réglements ont été adoptés par la suite : le réglement sur les ordres (mars 1984) et le réglement sur les inspecteurs (juin 1984) ; tous deux ont été révoqués en janvier 1985 pour être remplacés par le réglement sur le transport des marchandises dangereuses. Ce dernier réglement est entré en vigueur le premier juillet 1985 à l'échelle nationale et s'applique à tous les modes et activités de transport relevant de la juridiction fédérale.

Vers la fin de l'année 1985-1986, la plupart des provinces et des territoires avaient adopté les lois et les réglements du fédéral. En janvier 1989, la sécurité du transport des marchandises dangereuses par rail est venue s'ajouter aux responsabilités de la Direction générale qui entreprendra par conséquent, une révision du réglement actuel sur le traffic ferroviaire afin de l'améliorer et de l'intégrer aux réglements généraux sur le transport des marchandises dangereuses.

La principale nouveauté dans le domaine de la réglementation sera le parachévement des dispositions réglementaires visant les emballages et autres moyens de confinement, dont la promulgation est prévue pour janvier 1991, conformément à un accord des Nations Unies.

2)-LEGISLATION

Les principales dispositions de la loi sur le transport des marchandises dangereuses prévoient :

-L'établissement d'une seule loi visant la manutention, la demande de transport et le transport des marchandises dangereuses par tous les moyens de transport au Canada, sous réserve de quelques exceptions ;

-La mise au point d'un ensemble de dispositions réglementaires portant sur les normes de sécurité et les indications de danger, plus particulièrement en ce qui concerne l'identification et la classification des marchandises dangereuses, l'établissement des quantités et des concentrations ne présentant aucun danger, les prohibitions ou les restrictions applicables au transport de certaines marchandises dangereuses et les modalités d'obtention de permis;

-L'identification de nouveaux délits punisables en cas de dérogation à la loi en matière de manutention, de demande de transport et de transport de marchandises dangereuses, ou en cas d'infraction aux règles de sécurité applicables aux emballages et à l'apposition des étiquettes, ou aux ordres émis par le ministre;

-La désignation par le ministre d'inspecteurs autorisés à pénétrer et à visiter des locaux ou lieux où s'effectuent la manutention, la demande de transport ou le transport des marchandises dangereuses ;

-L'établissement d'exigences visant le rapport en cas de danger ;

-La conclusion d'accords entre le gouvernement fédéral et les gouvernements provinciaux et territoriaux portant sur la mise en application de la loi et la réglementation et le contrôle de cette application ;

-L'autorisation ministérielle pour la publication d'un code national du transport des marchandises dangereuses ;

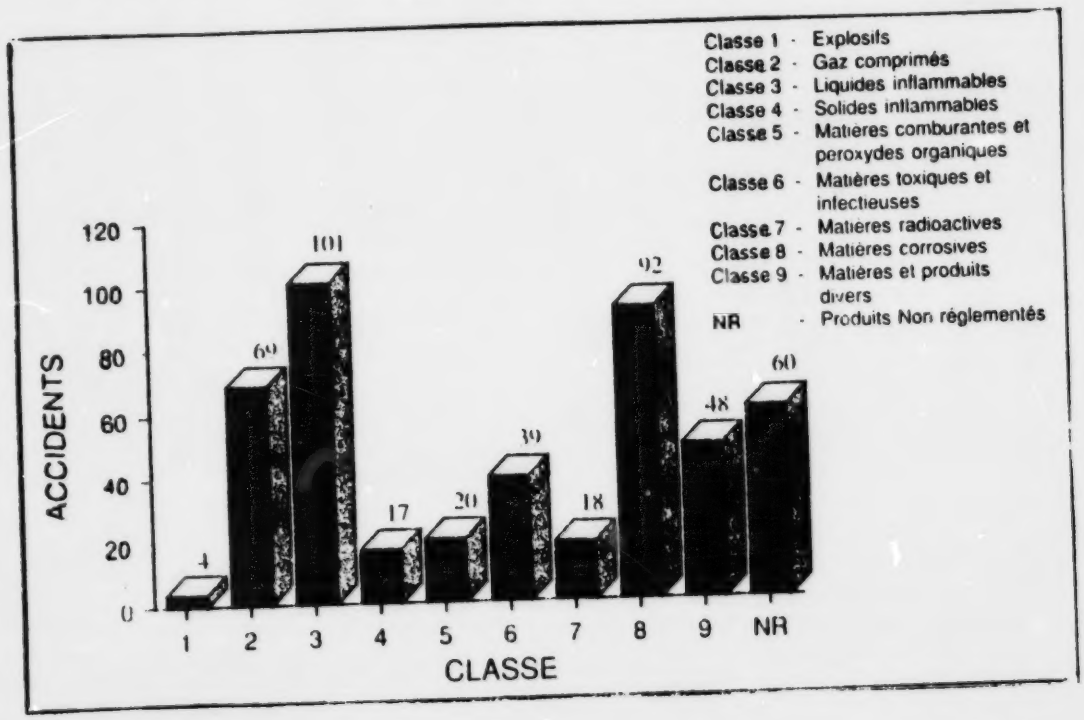
-L'établissement de comités consultatifs chargés de conseiller le Ministre sur les questions liées aux marchandises dangereuses ou autres activités connexes.

3)-STATISTIQUES

Les marchandises dangereuses au Canada sont classifiées selon leurs caractéristiques en 10 classes à savoir :

- Classe 1 *les explosifs
- Classe 2 *les gazs comprimés
- Classe 3 *les liquides inflammables
- Classe 4 *les solides inflammables
- Classe 5 *les matières comburantes et peroxydes organiques
- Classe 6 *les matières toxiques et infectieuses
- Classe 7 *les matières radioactives
- Classe 8 *les matières corrosives
- Classe 9 *les matières et produits divers
- NR *les produits non réglementés (voir figure 1).

FIGURE I.1 : Accidents par classe de marchandises dangereuses (1988-1989)

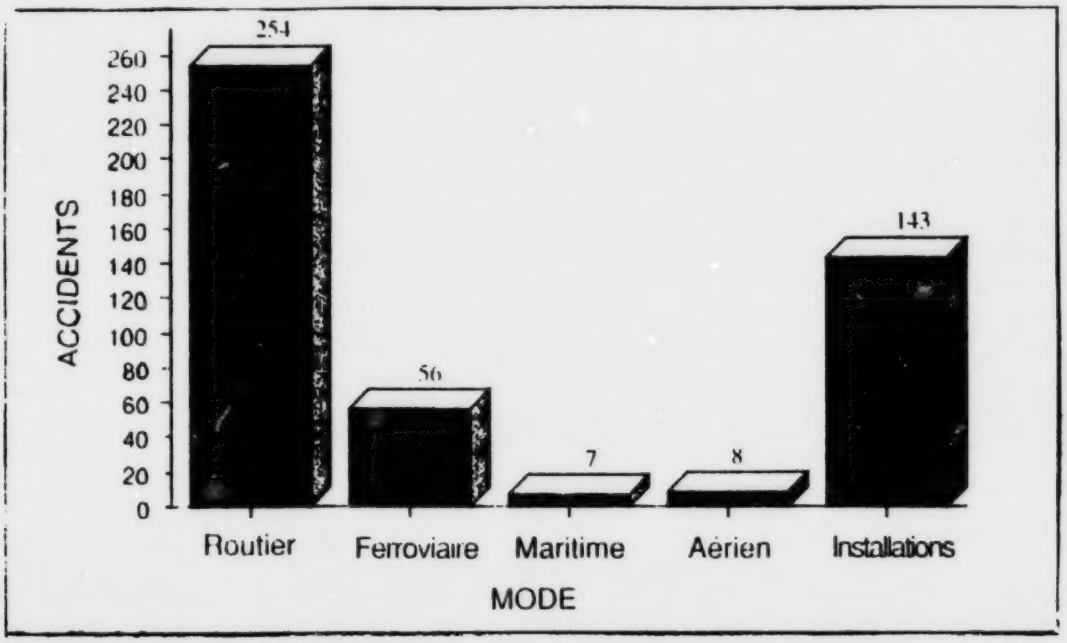


Source: Transports canada rapport annuel 1988-1989

Pour l'année financière 1988-1989, les liquides inflammables (classe 3) ont été en cause dans la plupart des accidents recensés (19,65 %). Les matières corrosives et les liquides inflammables arrivent au deuxième et au troisième rang.

Le nombre d'accidents relatifs aux produits non réglementés est assez élevé (12,82%); le gouvernement a donc intérêt à bien les identifié pour mieux contrôler leur transport. Pour les autres classes, à l'exception de la classe 9, le pourcentage d'accidents par classe est peu important, allant de 0.85 % pour les explosifs à 8.3 % pour les matières toxiques et infectieuses.

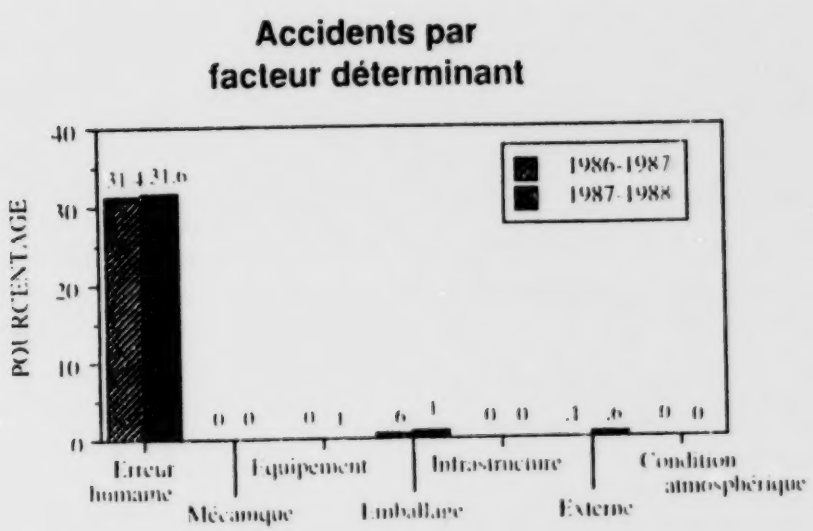
FIGURE I.2 : Accidents par mode de transport



Source: Transports canada rapport annuel 1987-1988

On a recensé 254 accidents routiers (54,27 %) relatifs au transport des marchandises dangereuse par comparaison à 56 ferroviaires (11,96 %), 7 maritimes (1.49 %) et 8 aériens (1.71 %). Ceci peut s'expliquer par le fait que la grande part des marchandises dangereuses est transportée par route et plus particulièrement par camion. C'est également lors de la manipulation de ces marchandises qu'un grand pourcentage d'accidents se réalisent; d'ailleurs pour les deux années financières 1986-1987 et 1987-1988 le facteur qui a joué le plus grand rôle dans les accidents survenus a été l'erreur humaine (voir figure suivante).

FIGURE I.3 : Accidents par facteur déterminant



Source: Transports canada rapport annuel 1987-1988

TABLEAU I.1 : Mortalités dues aux marchandises dangereuses par année financière

Mortalités

Mode/Cause	Due aux MD 1987	Due aux MD 1988	Due aux MD et effets des accidents 1987	Due aux MD et effets des accidents 1988	Total 1987	Total 1988
Routier	2	4	9	14	11	18
Entrepot	0	2	0	0	0	2
Total	**2**	**6**	**9**	**14**	**11**	**20**

Source: Transports canada rapport annuel 1987-1988

TABLEAU I.2 : Blessures dues aux marchandises dangereuses par année financière

Blessures

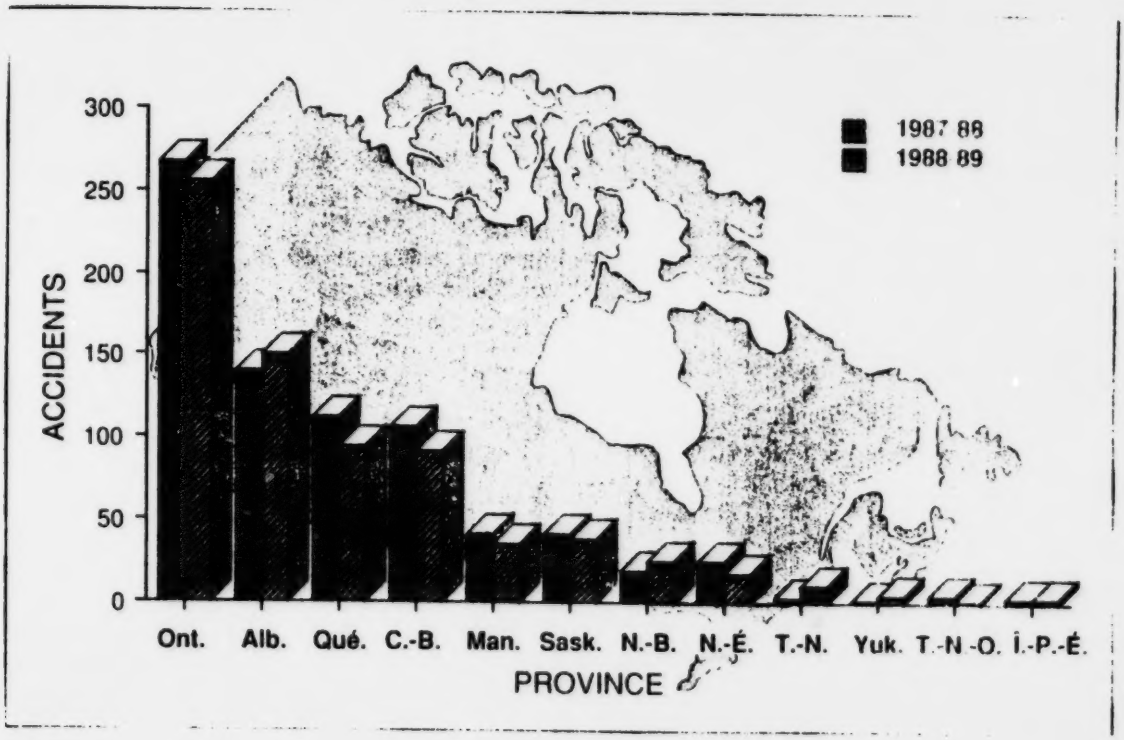
Mode Cause	Due aux MD		Due aux MD et effets des accidents		Total	
	1987	1988	1987	1988	1987	1988
Routier	31	5	53	50	84	55
Rail	4	2	0	7	4	9
Aerien	9	1	0	0	9	1
Maritime	0	7	0	0	0	7
Usine en vrac	33	1	0	0	33	1
Entrepot	76	28	1	0	77	28
Usine de traitement	1	5	30	13	31	18
Autre	16	2	0	3	16	5
Total	**170**	**51**	**84**	**73**	**254**	**124**

Source: Transports canada rapport annuel 1987-1988

Les renseignements sur les morts et les blessés se répartissent en deux groupes importants. Ceux attribuables aux marchandises dangereuses et ceux attribuables aux effets des accidents implicant des marchandises dangereuses (figures 4a et 4b).
Les accidents mortels sont attribués au mode routier. Les plus grands nombres de blessures sont attribués au mode routier et à l'opération d'entreposage. Nous remarquons également l'importance des effets des accidents reliés aux marchandises dangereuses, en effet pour l'année 1988 il y a eu 14 morts et 50 blessés.

FIGURE I.4 : Accidents reliés aux marchandises dangereuses par province

Années financières: 1987-1988 et 1988-1989



Source: Transports canada rapport annuel 1988-1989

L'Ontario est la province où on a recensé le plus grand nombre d'accidents et ceci s'explique par sa qualité de province industrialisée où l'usage de ces marchandises est élevé. Elle est suivie de l'Alberta et du Québec respectivement. Des douzes régions, sept ont accusé une diminution d'accidents pour l'année 1988-1989, comparativement à 1987-1988, tandis que quatre ont connu une augmentation des accidents et une, une stabilisation du nombre d'accidents.

II)-ELABORATION DU MODELE BENEFICE / RISQUE

Le modèle a pour point de départ le problème de maximisation de l'espérance d'utilité par rapport aux activités d'autoprotection développé par M. Boyer et G. Dionne (1985) dans "La tarification de l'assurance automobile et les incitations à la sécurité routière" qui introduit à la différence de ces derniers de nouvelles variables pertinentes à notre sujet, à savoir, la vitesse atteinte sur un parcours et les variables ayant trait au risque du parcours comme la probabilité spécifique au parcours et la vitesse limite du parcours.

Un chauffeur de camion représentant la firme pour laquelle il travaille peut réduire sa probabilité d'accident de deux manières (ici nous posons l'hypothèse que le conducteur se comporte comme s'il était lui même proriétaire de la firme. Nous emploierons dans ce qui suit le terme chauffeur lorsque nous parlerons d'activité d'autoprotection, et le terme firme lorsque nous parlerons du profit) :

-Soit en produisant des activités d'autoprotection où on définit l'activité d'autoprotection comme une action qui réduit la probabilité qu'un évènement se produise. Ce concept a été introduit pour la première fois par Ehrlich et Becker (1972). Un exemple serait la bonne information du conducteur de camion concernant les propriétés chimiques de la marchandise transportée et du danger qu'elle peut représenter lors d'un accident ou d'un déversement éventuel afin qu'il fasse plus attention lors du transport et qu'il sache agir en conséquence en cas d'incidents.

-Soit en diminuant sa vitesse et ceci engendre des coûts reliés à la perte de temps car un individu peut eventuellement occuper son temps perdu à faire d'autres activités économiques pouvant lui engendrer des profits.

-D'autre part on suppose que les variables de risque comme la probabilité spécifique du parcours (qui est une variable discrète estimée à partir de données empiriques spécifiques aux parcours, nombre d'accidents, nombre d'intersections) et la vitesse limite du parcours (qui peut être considérée comme une activité de protection gouvernementale et inspirée par Pelzman en (1975) et Lindgren et Stuart en (1980)) ont un grand impact sur la probabilité d'accident du chauffeur qui augmente sous l'effet d'une augmentation de ces variables prises séparément.

Supposons qu'il n'y a qu'un seul type d'accident et que deux états de la nature existent:

-ETAT # 1: correspondant à avoir un accident.

-ETAT # 2: correspondant à ne pas avoir d'accident.

Alors la probabilité d'accident de l'état # 1 est:

$$P(X_i, Y_i, y_j, q_j)$$

avec X_i: l'activité d'autoprotection du chauffeur i;

Y_i: la vitesse atteinte par le chauffeur i;

y_j: la vitesse limite du parcours j;

q_j: la probabilité spécifique d'accidents du parcours j qui dépend de plusieurs variables liées aux parcours comme l'état de la route et le nombre d'intersections.

La probabilité de l'état # 2 est donc

$$1\text{-}P(X_i,Y_i,y_j,q_j).$$

$P(X_i,Y_i,y_j,q_j)$, la probabilité d'accident est une fonction:

-Décroissante et convexe en X_i de sorte que:

$$\partial P(X_i,Y_i,y_j,q_j) / \partial X_i = P_1 < 0$$

$$\partial^2 P(X_i,Y_i,y_j,q_j) / \partial X_i^2 = P_{11} \geq 0$$

-Croissante et convexe en Y_i:

$$\partial P(X_i,Y_i,y_j,q_j) / \partial Y_i = P_2 > 0$$

$$\partial^2 P(X_i,Y_i,y_j,q_j / \partial Y_i^2 = P_{22} \geq 0.$$

D'autre part on suppose que:

$$P_3 = \partial P(X_i,Y_i,y_j,q_j) / \partial y_j > 0$$

et $$P_4 = \partial P(X_i,Y_i,y_j,q_j) / \partial q_j > 0$$

On définit par ailleurs : $S(Y_i)$ comme le profit de l'entreprise i, l_i comme la perte monétaire nette de l'assurance reliée à l'état # 1 et $C(X_i)$ le coût relié aux activités d'autoprotection.

Les choix d'assurance sont exogènes dans ce modèle. Alors les choix rationnels des niveaux des activités d'autoprotection et de la vitesse peuvent être caractérisés comme solution du problème suivant:

Maximiser l'espérance d'utilité de l'entreprise pour des niveaux de variables de risque y_j et q_j reliées au parcours. Une formulation mathématique de ce problème est la suivante :

$$(1)\ \underset{X_i,Y_i}{MAX}\ Z_{ij} = P(X_i,Y_i,y_j,q_j).U(S(Y_i)-l_i)+(1-P(X_i,Y_i,y_j,q_j).U(S(Y_i)) - C(X_i)$$

Avec Z_{ij} : l'espérance d'utilité de l'entreprise i sur le parcours j.

$C(X_i)$: fonction convexe croissante de X_i.

$C'(X_i) = \partial C(X_i) / \partial X_i > 0$;

$C''(X_i) = \partial^2 C(X_i) / \partial X_i^2 \geq 0$

$C(0) = 0$; $C(\infty) = \infty$

$S(Y_i)$: est une fonction croissante et concave de la vitesse ;

$S'(Y_i) > 0$ et $S''(Y_i) \leq 0$.

Par ailleurs on suppose que $U(W_i)$ avec W_i représentant la richesse, est deux fois différentiable et strictement concave par rapport à la richesse.

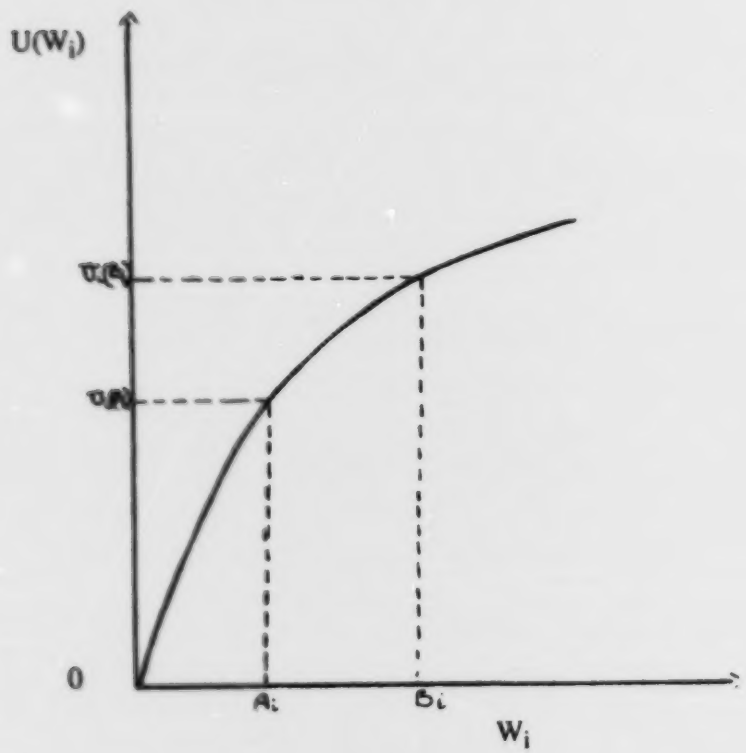
Afin de simplifier l'équation (1), posons $A_i = S(Y_i)-l_i$ et $B_i = S(Y_i)$.

Et si nous nous basons sur les propriétés de la fonction U(.) on peut conclure alors que :

$$U'(A_i) > 0, \quad U'(B_i) > 0, \quad U''(A_i) \leq 0, \quad U''(B_i) \leq 0$$

ce qui implique que $U'(A_i) \geq U'(B_i)$ lorsque $B_i \geq A_i$.

FIGURE II.1 : Représentation graphique de la fonction d'utilité considérée



Avec cette nouvelle notation l'équation (1) devient :

(2) $\underset{X_i, Y_i}{MAX}\ Z_{ij} = P(X_i, Y_i, y_j, q_j).U(A_i) + (1-P(X_i, Y_i, y_j, q_j.U(B_i) - C(X_i)$

où $C(X_i)$: est exprimé en termes monétaires plutôt qu'en termes d'utilité bien que quelques activités de Xi ne sont pas exprimées en termes monétaires mais en termes d'inconvénients tel que le stress, l'inconfort de la ceinture de sécurité.

Dérivons l'équation (2) par rapport à X et Y afin de dégager les niveaux optimaux de ces variables. Pour ceci nous allons procéder en deux étapes. Nous commencerons par donner les conditions du premier ordre puis nous exposerons les conditions du second ordre.

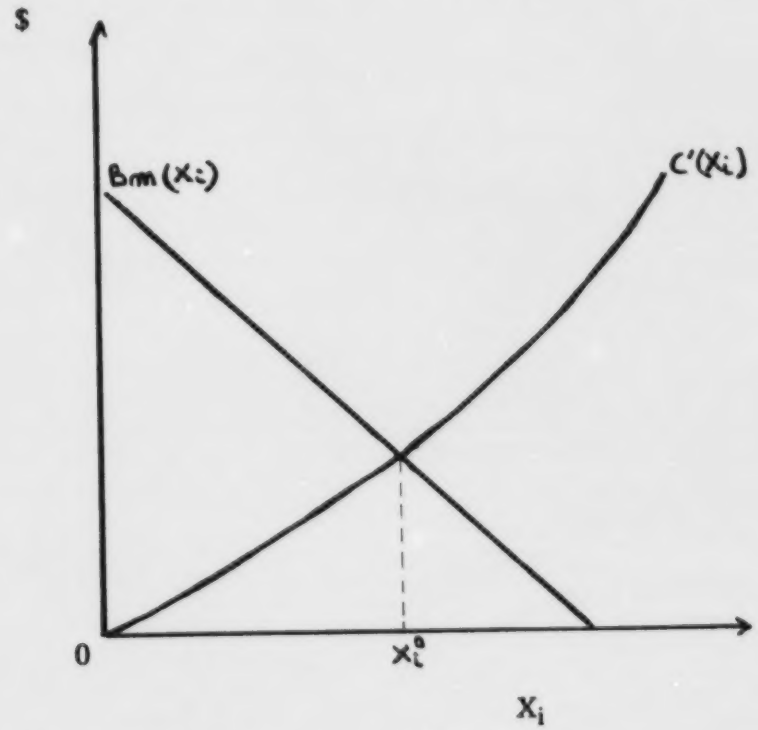
1)-LES CONDITIONS DU PREMIER ORDRE:

La première condition du premier ordre peut s'écrire

(3) $Z_{Xi} = \partial Z_{ij} / \partial X_i = P_1(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)- U(B_i)) - C'(X_i) = 0$

avec $P_1(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i))$ représentant le bénéfice marginal degagé des activités d'autoprotection, et $C'(X_i)$ représentant le coût marginal qui leur est relié.

FIGURE II.2 : Représentation graphique du niveau optimal d'autoprotection



La figure II.2 représente la solution optimale où :

X_i^*: est le niveau optimal d'autoprotection pour un niveau d'assurance donné.

$Bm(X_i)$: le bénéfice marginal dégagé pour un niveau d'assurance donné.

La deuxième condition du premier ordre est égale à :

$$(4)\ Z_{Yi} = \partial Z_{ij} / \partial Y_i = P_2(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) + P(X_i,Y_i,y_j,q_j).U'(A_i).S'(Y_i) + (1-P(X_i,Y_i,y_j,q_j)).U'(B_i).S'(Y_i) = 0$$

Posons $EU' = P(X_i, Y_i, y_j, q_j).U'(A_i)+(1-P(X_i, Y_i, y_j, q_j)).U'(B_i)$.

Alors l'équation (4) peut s'écrire :

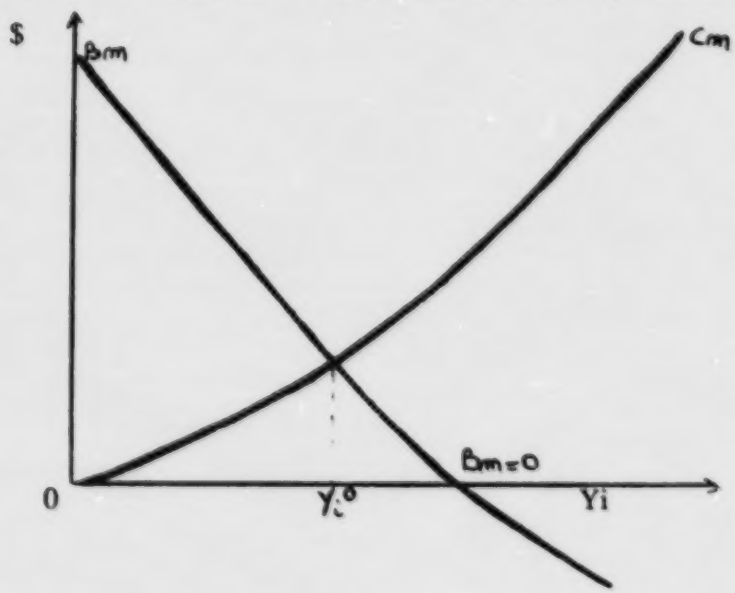
(4)' $\partial Z_{ij} / \partial Y_i = P_2(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i)) + S'(Y_i).EU' = 0$

Avec:

* - $P_2(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i))$ représentant le coût marginal d'augmenter la vitesse.
* et $S'(Y_i).EU'$ le bénéfice marginal dégagé d'une vitesse plus élevée.

La figure 3 représente la solution :

FIGURE II.3 Représentation graphique du niveau optimal de la vitesse



où

$Cm(Y_i)$: est le coût marginal

$Bm(Y_i)$: le bénéfice marginal.

On remarque que le point d'intersection des deux courbes est situé à gauche du point bénéfice marginal nul. Ce qui veut dire que le coût supplémentaire associé aux accidents réduit les activités de l'entreprise.

2)-LES CONDITIONS DU SECOND ORDRE:

La première condition du second ordre s'écrit :

$$(5)\ Z_{Xi^*Xi^*} = P_{11}(X_i^*,Y_i,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) - C''(X_i^*) \leq 0$$

Cette équation est négative car: $P_{11}(X_i^*) > 0$

$$U(A_i) < U(B_i)$$

et $C''(X_i^*) > 0$

La deuxième condition du second ordre est égale à :

$$\begin{aligned}(6)\ Z_{Yi^*Yi^*} = {} & P_{22}(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) + P_2(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).U'(A_i).S'(Y_i^*) \\ & - P_2(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).U'(B_i).S'(Y_i^*) + S''(Y_i^*).P(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).U'(A_i) \\ & + S'(Y_i^*).P_2(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).U'(A_i) + S'(Y_i^*).P(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).U''(A_i).S'(Y_i^*) \\ & + S''(Y_i^*).(1-P(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).U'(B_i) \\ & + S'(Y_i^*).U''(B_i).S'(Y_i^*).(1-P(X_i,Y_i^*,y_j,q_j))\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
&- S'(Y_i^*).P_2(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).U'(B_i) \\
&= P_{22}(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) \\
&\quad + (S'(Y_i^*))^2.EU'' + S''(Y_i^*).EU' \\
&\quad + 2.S'(Y_i^*).P_2(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).(U'(A_i)-U'(B_i)) \leq 0
\end{aligned}
$$

Les trois premiers termes de l'équation sont négatifs et le quatrième est positif en effet :

$P_{22} \geq 0$, $U(A_i) < U(B_i)$ d'où $P_{22}(X_i,Y_i^*,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) \leq 0$.

$(S(Y_i))^2 \geq 0$, $EU'' = P(X_i,Y_i,y_j,q_j).U''(A_i) + (1-P(X_i,Y_i,y_j,q_j)).U''(B_i) \leq 0$

avec $0 < P < 1$ d'où $(S'(Y_i^*)^2).EU'' \leq 0$ et $S''(Y_i).EU' \leq 0$

$S''(Y_i) \leq 0$ provient de la fonction de profit de la firme pour laquelle travaille le chauffeur de camion qui transporte les marchandises dangereuses.

Faisons la démonstration de cette inégalité :

Supposons que l'on se trouve en situation de concurrence pure et parfaite et soit

Π : le profit de la firme

N : le nombre de voyages entrepris par le chauffeur de camion

P : le prix tarifié par voyage

$C(Y_i)$: fonction de coût croissante, convexe de Y_i; exemple plus le camion fait de la vitesse plus sa consommation de carburant augmente

$C'(Y_i) > 0 \quad C''(Y_i) \geq 0$

T : temps disponible

Alors Π (le profit de la firme) est égal à $N.P - C(Y_i)$ avec $N = T.Y_i/L$

$$\Pi = P.T.Y_i/L - C(Y_i)$$

Si on maximise par rapport à Y_i on aura : $\partial \Pi / \partial Y_i = T.P / L - C'(Y_i) = 0$

$$\text{et } \partial^2 \Pi / \partial Y_i^2 = - C''(Y_i) \leq 0$$

D'où la fonction $S(Y_i) = \Pi$ est une fonction concave qui atteint son maximum au point $\Pi m = 0$ c'est à dire au point $Rm = Cm$:

Si nous revenons à l'équation (6) alors :

$S'(Y_i).P_2(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U'(A_i)-U'(B_i)) > 0$

car $S'(Y_i) \geq 0$, $P_2 > 0$ et $U'(A_i) > U'(B_i)$

Pour que (6) soit négative il faut que la condition suivante soit vérifiée :

$$|P_{22}.(X_i, Y_i^*, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i))+(S'(Y_i^*))^2.EU''+S''(Y_i^*).EU'|$$
$$> \quad 2.S'(Y_i^*).P_2(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U'(A_i)-U'(B_i))$$

En conclusion si la condition précédente est vérifiée nous avons :

$Z_{XiXi} < 0$, $Z_{YiYi} < 0$

et $\Delta > 0$

avec $\Delta = \begin{vmatrix} ZXiXi & ZXiYi \\ ZYiXi & ZYiYi \end{vmatrix}$

Donc X_i^* et Y_i^* représentent des niveaux maxima des activités d'autoprotection et de la vitesse .

Cependant il est important de signaler que les solutions optimales obtenus X^* et Y^* pour un même individu ne sont pas les mêmes pour des parcours différents.

En effet la probabilité de subir un accident est une fonction subjective de la gravité de l'accident des individus sur les différents parcours étant donné la probabilité d'accident spécifique au parcours.

Il est à noter que cette dernière probabilité est une variable discrète que l'on doit estimer par la loi de Poisson.

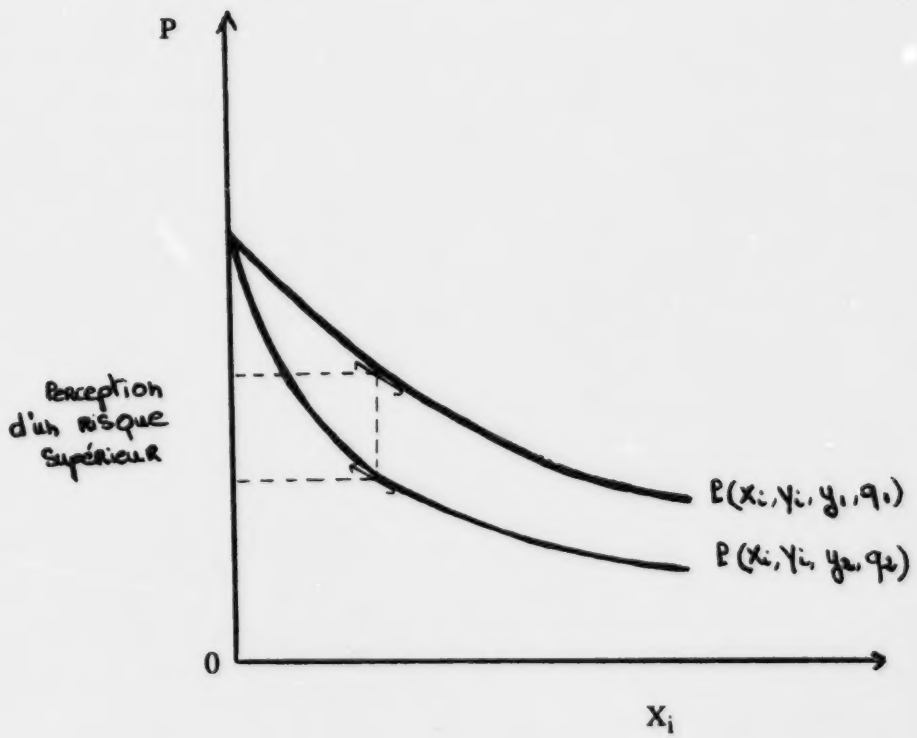
Soit X_i : le niveau d'activité d'autoprotection de l'individu i

Soient P1 : la probabilité d'avoir un accident sur le parcours 1

P2 : la probabilité d'avoir un accident sur le parcours 2

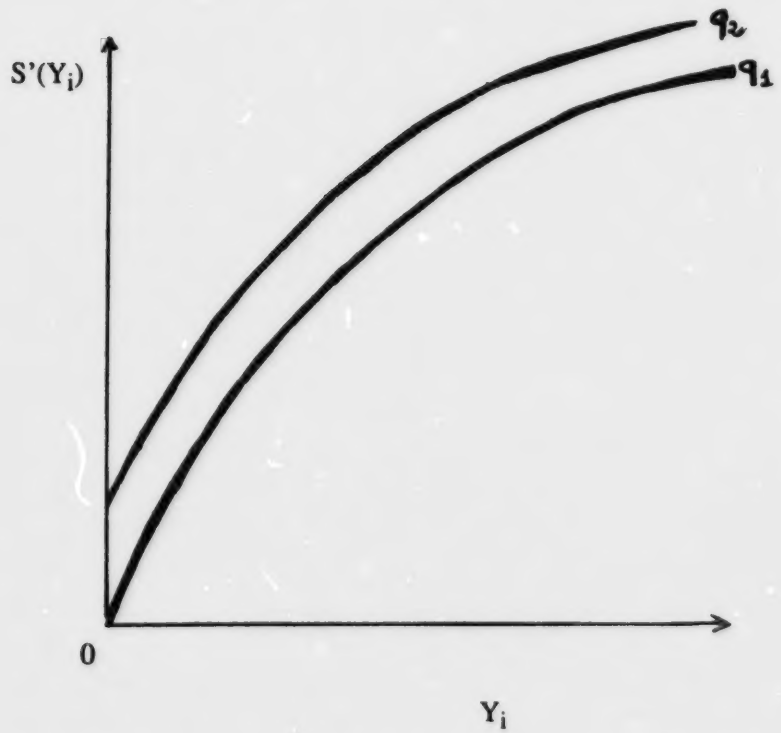
Pour chaque niveau d'activité d'autoprotection, la probabilité marginale d'avoir un accident sur un parcours où la probabilité spécifique au parcours q_1 est supérieure à la probabilité marginale d'avoir un accident sur un parcours où la probabilité spécifique est q_2.

FIGURE II.4 Représentation de la probabilité d'accident en fonction des activités d'autoprotection



Si on raisonne du point du point de vu de la vitesse utilisée par un individu on va avoir que le profit marginal pour un parcours où la probabilité d'accident q_1 est moins élevée que la richesse marginale dégagée sur un parcours où la probabilité d'accident est $q_2 < q_1$, ceci peut être représenté graphiquement comme suit :

FIGURE II.5 : Représentation graphique du profit marginal en fonction des probabilités spécifiques des parcours



Il y a donc une sorte de relation d'arbitrage entre augmenter sa richesse en augmentant la vitesse et diminuer sa probabilité d'accident.

3)-MODELE DE CHOIX DE PARCOURS

Le modèle que je vais présenter s'inspire du modèle de choix discret dévoloppé par McFadden (1974-1982).

Posons comme hypothèses que les chauffeurs de camions sont des agents rationnels et qu'ils connaissent parfaitement les probabilités d'accidents et les caractéristiques des vitesses limites reliées à chaque parcours. Cette hypothèse nous permet de dire qu'ils sont bien informés lorsqu'ils prennent leurs décisions.

Soient Z_{i1} et Z_{i2} représentant les espérances d'utilité de la firme i relatives respectivement aux parcours 1 et 2 ($q_1 > q_2$ et $y_1 > y_2$) alors l'individu i va choisir le parcours 1 au lieu du parcours 2 si et seulement si:

$$Z_{i1}(X_{i1}^{*},Y_{i2}^{*},y_1,q_1) > Z_{i2}(X_{i2}',Y_{i2}',y_2,q_2)$$

Ce modèle est une extension du modèle "Becker-Lancaster".Dans le modèle précédent on suppose que toutes les caractéristiques de l'individu et des parcours étaient observables. Considerons maintenant le fait que certaines de ces caractéristiques ne sont pas parfaitement observables par les chercheurs, il faut donc ajouter au modèle de décision une variable aléatoire (McFadden 1974). Ce qui entraîne que le chauffeur de camion va choisir le parcours 1 si et seulement si :

$$Z_{i1}(X_{i1}^{*},Y_{i2}^{*},y_1,q_1)+\varepsilon_{i1} > Z_{i2}(X_{i2}',Y_{i2}',y_2,q_2) + \varepsilon_{i2}$$

où ε_{i1} et ε_{i2} sont des variables aléatoires.

La probabilité de choisir le parcours 1 est donc :

$$P_i1(Z_{i1}(X_{i1}^*,Y_{i2}^*,y_1,q_1) - Z_{i2}(X_{i2}',Y_{i2}',y_2,q_2) > (\varepsilon_{i1}-\varepsilon_{i2})$$
$$= F(Z_{i1}(X_{i1}^*,Y_{i2}^*,y_1,q_1) - Z_{i2}(X_{i2}',Y_{i2}',y_2,q_2))$$

où F représente la fonction de répartition de $(\varepsilon_{i1}-\varepsilon_{i2})$. Dans cette étude F est supposée être la fonction de répartition d'une distribution logistique.

4)-IMPACT DES VARIABLES DE RISQUE SUR LES ACTIVITES PROPRES DE L'INDIVIDU

Nous allons nous intéresser maintenant à l'impact des variables de risque (y_j et q_j) sur les activités optimales de l'individu. Pour celà on va procéder à l'analyse de la statique comparée du problème de l'individu.

On va supposer alors que l'aversion au risque est nulle afin de pouvoir isoler les effets directs des variables les unes par rapport aux autres. Commençons par étudier les variations partielles.

$$(7)\ Z_{XiYi} = P_{12}(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i))+P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).U'(A_i).S'(Y_i)$$
$$-P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).U'(B_i).S'(Y_i)$$
$$= P_{12}(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i))+P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).S'(Y_i).(U'(A_i)-U'(B_i))$$

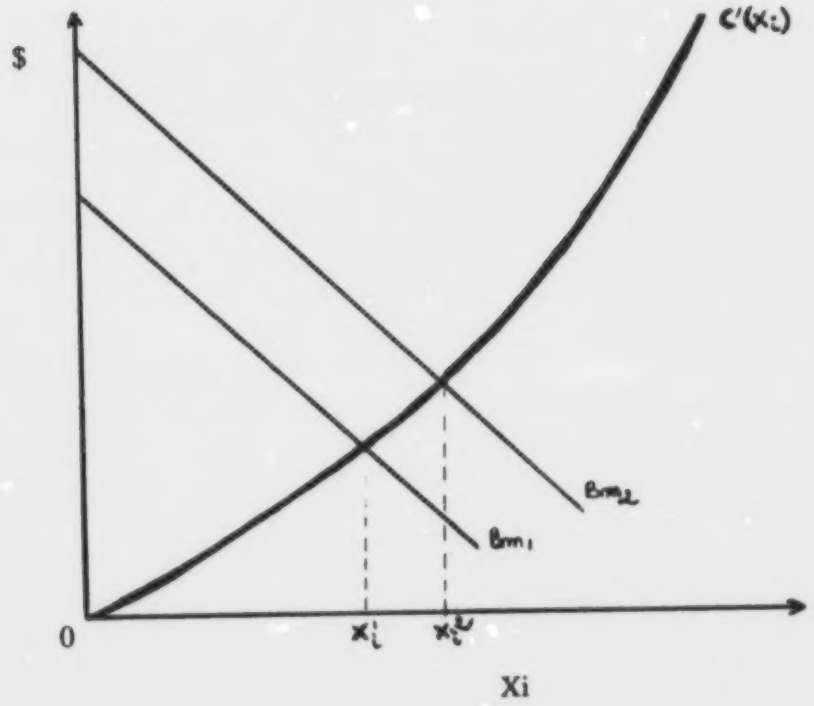
qui devient lorsqu'on pose $U'(A_i) = U'(B_i)$:

$$Z_{XiYi} = P_{12}(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i)) \geq 0$$

$P_{12}(X_i, Y_i, y_j, q_j) < 0$ c'est à dire que lorsque la vitesse augmente l'efficacité marginale de X et le revenu marginal de X augmente. $U(A_i) < U(B_i)$ d'où

$Z_{XiYi} \geq 0$.

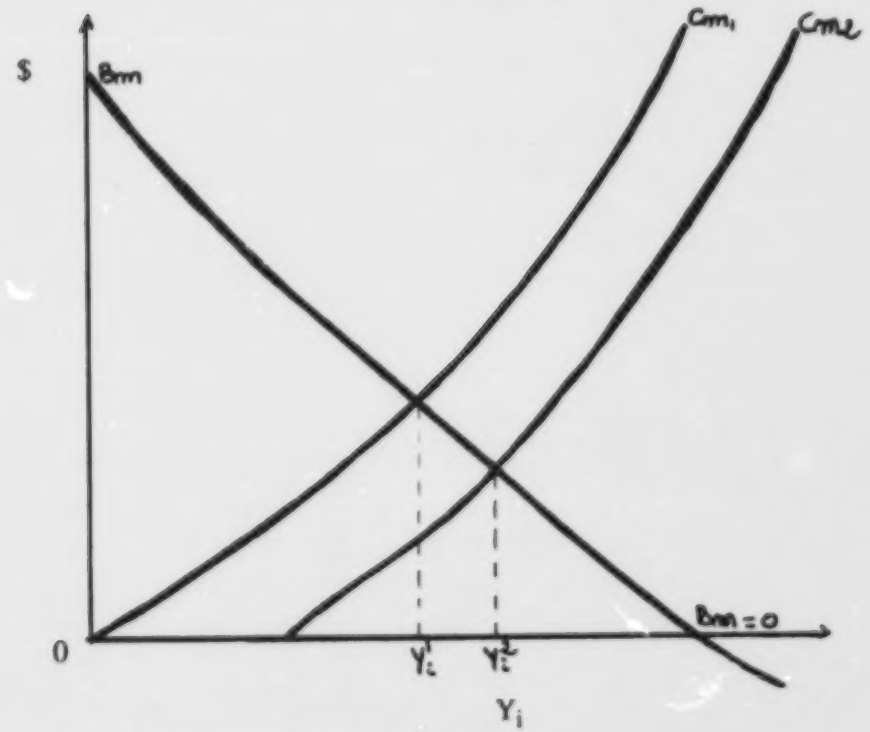
FIGURE II.6 : Représentation graphique de l'impact de l'augmentation de la vitesse sur le niveau optimal des activités d'autoprotection



$$(8)\quad Z_{YiXi} = P_{21}(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) + S'(Y_i).P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).U'(A_i)$$
$$-P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).U'(B_i).S'(Y_i)$$
$$= P_{21}(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) + S'(Y_i).P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U'(A_i)-U'(B_i))$$
$$= P_{21}(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(A_i)-U(B_i)) \geq 0$$

$P_{21} \leq 0$ car les activités d'autoprotection diminuent l'impact de Y sur la probabilité d'accident et, par conséquent diminuent les coûts de Y.

FIGURE II.7 : Représentation graphique de l'impact de l'augmentation du niveau des activités d'autoprotection sur la vitesse



(9) $Z_{Xiyj} = P_{13}(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i)) \geq 0$

Car $P_{13} \leq 0$ d'où l'augmentation de la vitesse limite engendre une augmentation de l'efficacité marginale de X et le revenu marginal de X augmente.

(10) $Z_{Xiqi} = P_{14}(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i)) \geq 0$

$P_{14} \leq 0$ l'augmentation de la probabilité d'accident sur le parcours augmente l'efficacité de X engendreant l'augmentation du bénéfice marginal.

(11) $Z_{Yiyj} = P_{23}(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i)) + S'(Y_i).P_3(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U'(A_i)-U'(B_i))$

$= P_{23}(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i)) = 0$

Ici on pose que $P_{23} = 0$ car on suppose que la vitesse limite n'a pas d'impact sur l'effet marginal de Y sur la probabilité d'accident.

(12) $Z_{Yiqj} = P_{24}(X_i, Y_i, y_j, q_j).(U(A_i)-U(B_i)) \leq 0$

La probabilité d'accident augmente l'efficacité marginale de Y et augmente ses coûts marginaux.

Soit $\Delta = \begin{vmatrix} ZXiXi & ZXiYi \\ ZYiXi & ZYiYi \end{vmatrix}$

avec $\Delta > 0$

$$\partial X_i / \partial y_j = 1/\Delta \, . \, \{ - Z_{Xiyj}.Z_{YiYi} + Z_{Yiyj}.Z_{XiYi} \} \geq 0$$

$$- \; (+) \quad (-) \qquad (0) \quad (+)$$

$$+ \qquad\qquad 0$$

Le premier terme de droite qui représente l'impact direct d'une augmentation de la vitesse limite du parcours y_j sur X_i est positif alors que le deuxième qui représente l'effet indirect est nul. L'effet total est donc positif et l'augmentation de y_j va se traduire par une augmentation des activités d'autoprotection de l'individu.

$$\partial X_i / \partial q_j = 1/\Delta \, . \, \{ -Z_{Xiqj}.Z_{YiYi} + Z_{Yiqj}.Z_{XiYi} \} \geq 0$$

$$- \; (+) \quad (-) \qquad (-) \quad (+)$$

$$+ \qquad\qquad -$$

L'effet direct d'une augmentation de la probabilité spécifique au parcours est positif alors que l'effet indirect est négatif. Pour avoir un effet total positif il faut que l'effet direct soit supérieur en valeur absolue à l'effet indirect . Si ceci est vérifié alors l'individu va augmenter son niveau d'activité d'autoprotection face à l'augmentation de la probabilité spécifique au parcours.

Examinons maintenant les relations sur Y_i:

$$\partial Y_i / \partial y_j = 1/\Delta \, . \, \{ -Z_{XiXi}.Z_{Yiyj} + Z_{XiYi}.Z_{Xiyj} \} \geq 0$$

$$- \; (-) \quad (0) \qquad (+) \quad (+)$$

$$0 \qquad\qquad +$$

La vitesse du chauffeur augmente lorsque la vitesse limite imposée sur le parcours croit ce qui parait tout à fait logique.

$$\partial Y_i / \partial q_j = 1/\Delta \, . \, (-Z_{XiXi} . Z_{Yiqj} + Z_{XiYi} . Z_{Xiqj}) \leq 0$$

$$- \quad (-) \quad (-) \qquad (+) \quad (+)$$

$$- \qquad\qquad +$$

Le premier terme de droite est négatif alors que le deuxième est positif. Si:

$$| -Z_{XiXi} Z_{Yiqj} | > | Z_{XiYi} Z_{Xiqj} |$$

alors une probabilité d'accident sur un parcours se traduit par une vitesse atteinte moins élevée par l'individu.

Les résultas ont été obtenus par l'imposition de certaines restrictions telles que la neutralité face au risque et l'importance relative des deux effets lorsqu'ils sont de signes contraires.

III)-EXTERNALITES ET ALLOCATION OPTIMALE DES RESSOURCES

1)-INTRODUCTION

Nous avons vu dans ce qui précède, comment l'entreprise de transport de marchandises dangereuses maximise son espérance d'utilité en tenant compte seulement des caractéristiques du trajet à parcourir et de ses propres caractéristiques ; ce qui nous a permis de déterminer des niveaux optimaux d'activités d'autoprotection et de vitesse à atteindre.

Cependant, dans notre modèle nous n'avons pas tenu compte des conséquences éventuelles d'un accident de camion sur la population et l'environnement exposés, c'est à dire des externalités qui sont la caractéristique même des matières dangereuses auxquelles nous nous intéressons et dont le but de notre recherche est d'en tenir compte dans un modèle de maximisation du bien être de la société .

Commençons d'abord par définir ce qu'est une externalité.

Nicholson dit " qu'une externalité se réalise lorsque des agents économiques ont des effets directs sur le bien être d'autres individus. Ces effets sont en dehors des canaux traditionnels du marché ".

C'est justement le cas de cette entreprise de camion typique qui génère des coûts aux individus qui sont exposés à un éventuel accident et qui n'ont aucun moyen de lui en faire supporter les coûts par le mécanisme du marché ; ce qui va à l'encontre du critère de Pareto d'allocation des ressources qui dit qu'une allocation des ressources est efficace s'il n'existe aucune autre allocation qui est préférable pour au moins un agent, sans pour autant, diminuer le bien être des autres.

Dans le cas des marchandises dangereuses, les problèmes posés par les effets externes qui sont catastrophiques aussi bien pour la santé des individus que pour l'environnement nécessitent l'intervention gouvernementale .

Des mécanismes efficaces comme la réglementation du transport de ces marchandises doivent être mis en place pour assurer une efficacité maximale compte tenu des bénéfices de l'entreprise du transport et du bien être de la société ; donc les décisions de choix du niveau des activités d'autoprotection et de la vitesse ne doivent plus être prises au niveau individuel de l'entreprise du transport mais à un niveau collectif ou social.

Pour bien comprendre les inefficacités dues à l'existence d'effets externes, nous allons d'abord reprendre notre modèle initial et bien expliquer les caractéristiques des solutions obtenues par le fonctionnement libre du marché.

Dans une seconde étape, nous allons intégrer le problème d'externalités dans notre modèle, en tenant compte des coûts supplémentaires engendrés à la société afin de montrer que les solutions obtenues dans le chapitre précédant ne sont pas Pareto efficaces en présence d'externalités .

2)-EFFET DES EXTERNALITES SUR LES SOLUTIONS OPTIMALES DU MODELE DE BASE

Lorsqu'on ne tient pas compte des externalités, le problème de maximisation de l'entreprise se résume comme suit :

$$\text{Max } Z_{ij} = P(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(S(Y_i)-l_i) + (1-P(X_i,Y_i,y_j,q_j)).U(S(Y_i)) - C(X_i)$$

Ce qui nous a donné les conditions du premier ordre suivantes :

$$(1)\ Z_{Xi} = \partial Z_{ij} / \partial X_i = P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).[U(S(Y_i)-l_i) - U(S(Y_i))] - C'(X_i) = 0$$

$$(2)\ Z_{Yi} = \partial Z_{ij} / \partial Y_i = P_2(X_i,Y_i,y_j,q_j).[U(S(Y_i)-l_i) - U(S(Y_i))] + S'(Y_i).EU' = 0$$

Si on pose $Bm1 = P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).[U(S(Y_i)-l_i) - U(S(Y_i))]$

$Cm1 = C'(X_i)$

$Bm2 = S'(Y_i).EU'$

$Cm2 = - P(X_i,Y_i,y_j,q_j).[U(S(Y_i))-l_i) - U(S(Y_i))],$

le rapport (1)/(2) donne :

$$Bm1/Bm2 - Cm1/Cm2 = 0 \text{ avec } \{ Bm1 - Cm1 = 0$$
$$\{ Bm2 - Cm2 = 0$$

C'est à dire que l'équilibre est atteint lorsque le ratio des bénéfices marginaux privés de l'entreprise est égal au ratio des coûts marginaux privés. Ouvrons une parenthèse afin de bien définir les coûts liés aux externalités et de bien comparer le coût marginal social au coût marginal privé. Nous définissons le coût marginal social comme la somme de deux éléments :

le coût marginal privé, qui est la part d'une activité assumée par ceux qui accomplissent cette activité et le coût supplémentaire qui équivaut à la part assumée par les autres agents économiques.

Par exemple notre entreprise de transport de marchandises dangereuses en maximisant son nombre de voyages (maximisant son utilité) en plus du coût privé qu'on a appelé l (coût dans S(Y)) dans notre modèle et qui est subit en cas d'accident doit aussi tenir compte du coût qu'elle peut causer aux autres et qui peut prendre la forme de frais d'hospitalisation, de récuperation des déchets toxiques, dommages aux propriétés exposées ...etc sans oublier le côté désagréable d'un voisinage pollué.

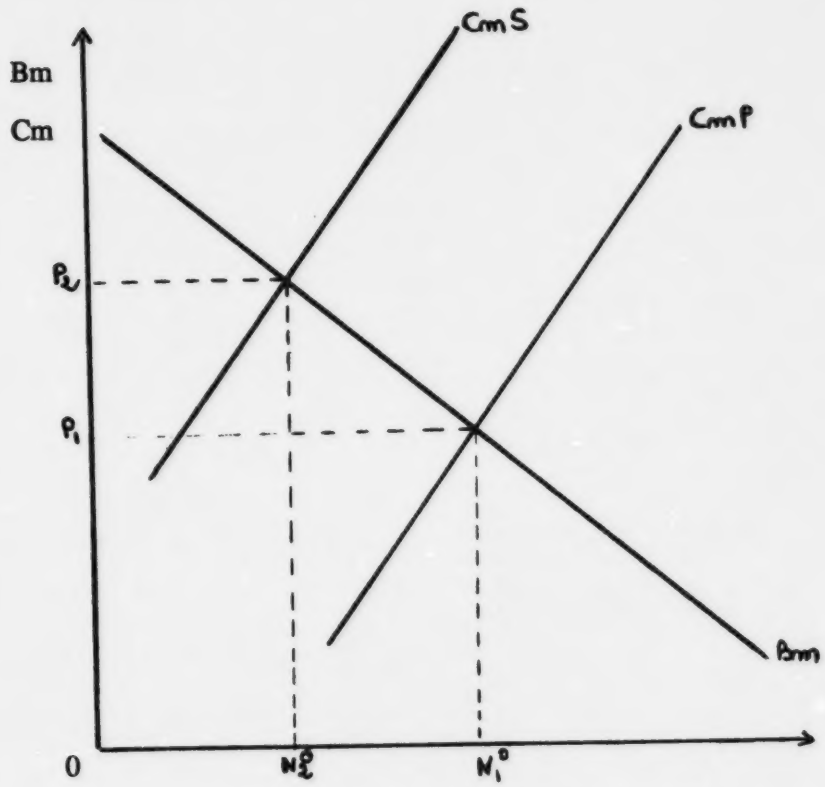
La somme des coûts marginaux privés et des coûts marginaux des externalités représente le coût marginal social de l'activité du transport des matières dangereuses.

Donc le coût marginal social va être supérieur au coût marginal privé si le coût marginal des externalités est positif c'est à dire Cmp1 < Cms1 et

Cmp2 < Cms2 .

Puisque l'entreprise, comme nous l'avons montré un peu plus haut, va opter pour des seuils de vitesse et d'activités d'autoprotection où son bénéfice marginal (Bm) est égal à son coût marginal privé, il va s'en suivre que le bénéfice marginal social sera plus petit que le coût marginal social. La société a donc intérêt à inciter la firme à augmenter son niveau d'autoprotection et à réduire sa vitesse d'où son nombre de voyages. Cette intervention réduirait le bénéfice marginal privé de l'entreprise mais réduirait aussi le coût marginal social et comme Cms > Bmp la société serait en meilleure situation.

FIGURE III.1 : Equilibre d'une entreprise dont l'activité engendre un coût externe



Si nous nous situons dans un cadre de concurrence parfaite où le prix tarifé par l'entreprise est égal à son coût marginal privé il va être inférieur au Coût marginal social. Les mécanismes du marché ont donc tendance à favoriser un niveau de nombre de voyages inefficace générant des externalités.

A.C Pigou a été le premier en 1911 à expliquer la faible performance de l'économie du marché en ce qui concerne la protection de l'environnement dans son

ouvrage The economic of welfare et a proposé l'application d'une taxe d'ascise aux firmes générant des externalités comme méthode efficace pour lutter contre la pollution et redresser ainsi l'inefficacité du marché.

Mais avant de nous étendre sur les méthodes de lutte contre les externalités, nous allons bien définir les caractéristiques des externalités auxquelles nous avons à faire face, et, dans un deuxième temps nous allons intégrer leurs effets à notre modèle afin de démontrer comment les niveaux X^* et Y^* solutions de (1) et (2) ne sont pas optimaux .

En effet la plupart des marchandises auxquelles nous nous intéressons sont hautement toxiques ; parmi elles le P.C.B (polychlorobiphenyl), le gaz chlorhydrique, les déchets radioactifs...etc qui présentent des dangers catastrophiques pour la santé et l'environnement. En plus certaines des substances ont la caractéristique de polluer les eaux, de contaminer les sols et les sous sols, d'entrainer des maladies incurables comme le cancer et même des modifications génétiques (radioactivité).

Cependant l'estimation des coûts des accidents d'un camion transportant ce genre de marchandises dépend d'une variété de facteurs incluant la quantité déversée, le degré de toxicité, les effets sur la santé, les caractéristiques de la population et de l'environnement adjacents à l'accident, les conditions climatiques et le moment de l'accident. C'est l'effet combiné de tous ces facteurs aléatoires qui décide de l'ampleur des conséquences.

En effet certaines de ces matières peuvent être tout à fait neutres au départ mais ce n'est qu'en présence de conditions particulières qu'elles deviennent dangereuses. Citons l'exemple qu'a choisi Der ming (1988), soit l'équation chimique suivante :

$2Na + 2H20$ -------- $2NaoH + H2$

(réaction du sodium et de l'eau)

Le sodium à l'état brut est tout à fait neutre, mais lorsqu'il est combiné à l'eau ceci nous donne l'hydrogène qui est explosif et inflammable. Mais comme il est toujours difficile de mesurer l'ampleur des dégâts engendrés losqu'un incident se réalise, nous allons nous restreindre à representer par $p(X_i,Y_i)$ la probabilité d'incidence sur l'environnement et ($1-p(X_i,Y_i)$) la probabilité qu'il n'y ait pas d'incidence.

3)-FORMULATION DU MODELE EN TENANT COMPTE DES EXTERNALITES

Considérons une économie où tous les agents, exposés aux conséquences d'un accident de camion transportant des matières dangereuses, sont identiques.
La probabilité d'être exposé aux externalités est une fonction des activités d'autoprotection et de la vitesse des entreprises $p(X_i,Y_i)$.

Précisons encore une fois comme on l'a déjà dit plus haut que cette probabilité dépend en réalité d'un ensemble de facteurs reliés directement à la matière dangereuse transportée tels que sa nature, son degré de fluidité, sa vitesse de déversement, son degré toxique etc...

Mais comme les externalités tendent à être aussi réalistes que le sont les activités d'autoprotection et la vitesse nous allons nous restreindre à ces derniers.

Nous allons poser l'hypothèse que l'espérance d'utilité de n'importe lequel des individus exposés s'écrit sous la forme :

$$V = p(X_i,Y_i).V(W-l) + (1-p(X_i,Y_i)).V(W)$$

Avec $p(X_i,Y_i)$: fonction décroissante en X_i tel que

$$p_1(X_i,Y_i) = \partial p / \partial X_i < 0$$
$$p_{11}(X_i,Y_i) = \partial^2 p / \partial X_i^2 \geq 0$$

et croissante en Y_i

$$p_2(X_i,Y_i) = \partial p / \partial Y_i > 0$$
$$\text{et} \quad p_{22}(X_i,Y_i) = \partial^2 p / \partial Y_i^2 \geq 0$$

où W : richesse initiale de l'individu exposé

l : coût engendré lorsque les externalités se réalisent.

Une façon d'intégrer ces externalités au modèle est de définir deux coûts l_1 et l_2 et non pas un seul coût tel que fait précédemment de sorte que :

l_1 : représente la perte monétaire supportée par l'entreprise de cammionage qui serait identique au l définit dans notre modèle initial et

l_2 : le coût engendré à l'individu exposé et à l'environnement c'est à dire les frais médicaux, le coût de remplacement des biens, nettoyage de l'environnement ...etc

Il est bon de remarquer que seuls les dommages matériels et les effets sur l'économie sont considérés ici et on pourrait assimiler ce coût au coût supplémentaire au coût privé de sorte que $l_1 + l_2$ representerait le coût social de l'entreprise de cammionage en cas d'accident.

Les solutions du modèle en présence d'externalités vont être solutions du problème suivant :

$$\underset{X_i,Y_i}{\text{Max}}\ Z = P(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(S(Y_i)-l_1) + (1-P(X_i,Y_i,y_j,q_j)).U(S(Y_i)) - C(X_i)$$

Sous contrainte que

$$\overline{V} \geq p(X_i,Y_i).V(W-l_2) + (1-p(X_i,Y_i)).V(W)$$

C'est à dire que l'entreprise de transport maximise son espérance d'utilité sous contrainte qu'elle va tenir compte du bien être des autres agents qui peuvent être affectés par les externalités. Les autres agents sont représentés par un consommateur représentatif.

Formulons le Lagragien :

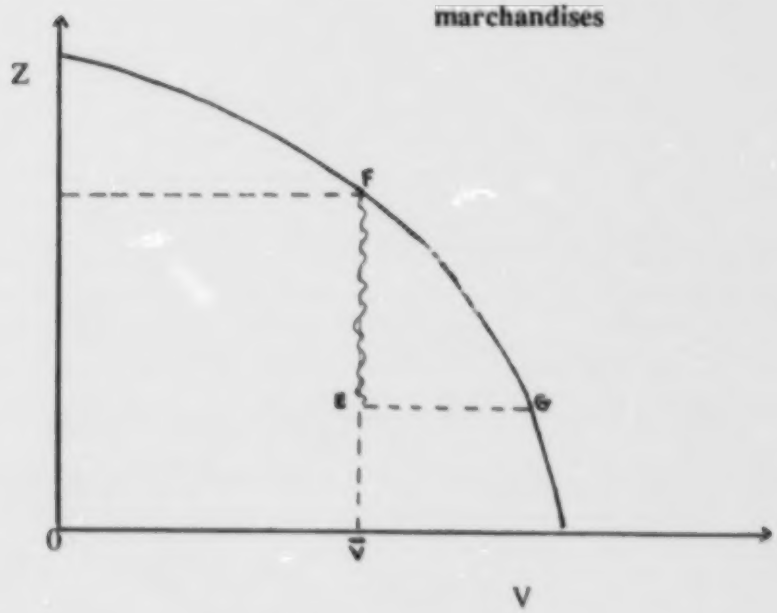
$$L = P(X_i,Y_i,y_j,q_j).(U(S(Y_i) - l_1)+ (1 - P(X_i,Y_i,y_j,q_j)).U(S(Y_i))$$
$$- C(X_i) + \Phi.[\overline{V} - p(X_i,Y_i).V(W - l_2) - (1 - p(X_i,Y_i)).V(W)]$$

i: fait réference à l'entreprise de transport i

Φ: multiplicateur de Lagrange que l'on va poser négatif

$\Phi = \partial L / \partial V \leq 0$ de sorte que l'utilité de l'entreprise ne peut pas s'améliorer sans nuire à celle des individus exposés.

FIGURE III.2 : Relation d'arbitrage entre l'espérance d'utilité de l'individu exposé aux effets des accidents reliés au transport des marchandises dangereuses et l'espérance d'utilité de l'entreprise qui transporte ces marchandises



Supposons que E est la situation initiale de la société, n'importe quel point situé sur le tronçon F G appartient à l'ensemble efficient puisque n'importe lequel de ces points maximise l'espérance d'utilité de l'entreprise sans diminué celle de l'individu exposé.

A)-Conditions du premier ordre:

Les conditions du premier ordre du problème précédent sont :

$$(3)\ \partial L / \partial X_i = P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).[\ U(S(Y_i)-l_1) - U(S(Y_i)\ ] - C'(X_i) - \Phi.p_1(X_i,Y_i).[\ V(W-l_2) - V(W)\ ] = 0$$

$$(4)\ \partial L / \partial Y_i = P_2(X_i,Y_i,y_j,q_j).[\ U(S(Y_i)-l_1) - U(S(Y_i)\ ] + S'(Y_i).EU' - \Phi.p_2(X_i,Y_i).[\ V(W-l_2) - V(W)\ ] = 0$$

$$(5)\ \partial L / \partial \Phi = \overline{V} - p(X_i,Y_i).V(W-l_2) - (\ 1-p(X_i,Y_i)\ ).V(W) = 0$$

Vérifons les conditions du second ordre

$$\partial^2 L / \partial X_i^2 = Z_{XiXi} - \Phi.p_{11}.[\ V(W-l_2) - V(W)\ ] \leq 0$$

$$(-) \quad -(-)\,(+) \qquad (-)$$

$$\partial^2 L / \partial Y_i^2 = Z_{YiYi} - \Phi.p_{22}.[\ V(W-l_2) - V(W)\ ] \quad \leq 0$$

$$(-) \quad -(-)\,(+) \qquad (-)$$

$$L_{XiXi} = \partial^2 L / \partial X_i^2 \ \leq \ 0\ )$$

$$L_{YiYi} = \partial^2 L / \partial Y_i^2 \ \leq \ 0\ )$$

Les solutions obtenues sont des maxima

Soit $\quad \Delta = \begin{vmatrix} L_{XiXi} & L_{XiYi} \\ L_{YiXi} & L_{YiYi} \end{vmatrix}$

avec $\Delta > 0$

En faisant le rapport des relations (3) et (4) pour éliminer le multiplicateur de Lagrange et en posant:

$$Bm_1' = P_1(X_i,Y_i,y_j,q_j).(\ U(S(Y_i)-l_1\ ) - U(S(Y_i))$$

$$Cm_1' = C'(X_i)$$

$$Bm_2' = S'(Y_i).EU'$$

$$Cm_2' = -\ P_2(X_i,Y_i,y_j,q_j).(\ U(S(Y_i)-l_1\ ) - U(S(Y_i))$$

on obtient $\dfrac{Bm_1'- Cm_1'}{Bm_2'- Cm_2'} = \dfrac{\Phi.p_1.[\ V(W-l_2) - V(W)\ ]}{\Phi.p_2.[\ V(W-l_2) - V(W)\ ]} = \dfrac{p_1(X_i,Y_i)}{p_2(X_i,Y_i)} < 0$

avec $p_1(X_i,Y_i) / p_2(X_i,Y_i)$: Taux de productivité d'externalités

Donc les solutions obtenues en présence d'externalités sont différentes de celles obtenues précédamment et on voit que :

$$\frac{Bm_1 - Cm_1}{p_1(X_i,Y_i).[\,V(W-l_2) - V(W)\,]} = \frac{Bm_2 - Cm_2}{p_2(X_i,Y_i).[\,V(W-l_2) - V(W)\,]} = \Phi < 0$$

$$\frac{Bm_1 - Cm_1}{p_1(X_i,Y_i)} = \frac{Bm_2 - Cm_2}{p_2(X_i,Y_i)} = \Phi.[\,V(W-l_2) - V(W)\,] > 0$$

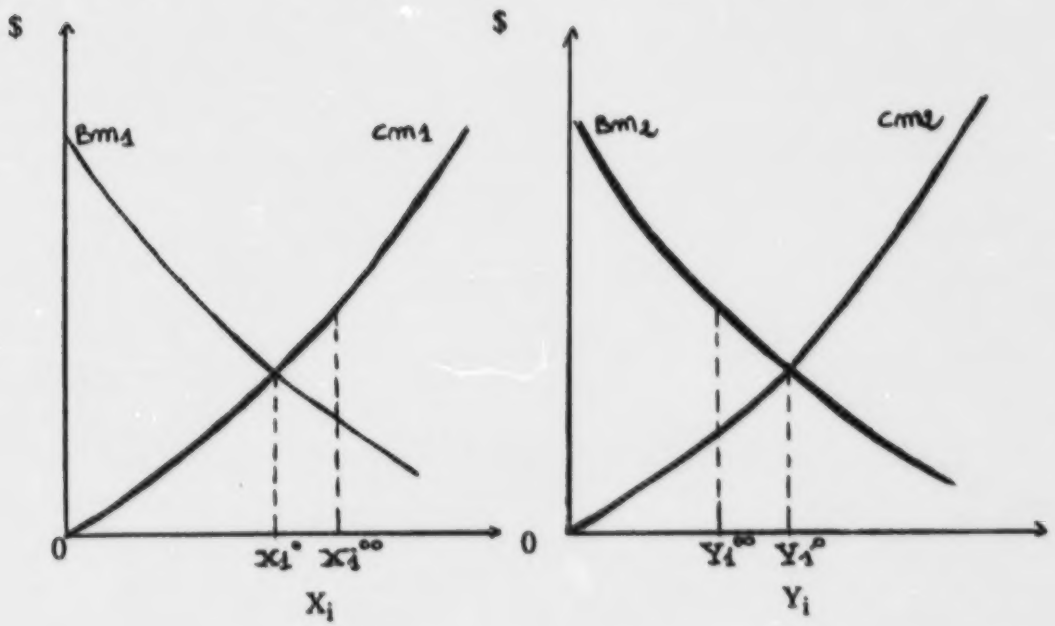
$p_1(X_i,Y_i) < 0$ d'où $Bm_1 < Cm_1$

$p_2(X_i,Y_i) > 0$ d'où $Bm_2 > Cm_2$

B)-Representations graphiques

Soient X_i^{**} et Y_i^{**} solutions respectives de (3) et (4)

FIGURE III.3 : Solutions optimales des activités d'autoprotection et de la vitesse en tenant compte des externalités



Cette solution est tout a fait compatible à nos attentes.

En tenant compte des externalités engendrées par ses activités, l'entreprise augmente son niveau d'autoprotection d'où ses coûts marginaux et diminue sa vitesse.

Les niveaux d'autoprotection et de la vitesse obtenus sans tenir compte des externalités (en premier lieu) ne sont pas Pareto optimaux ; Quels sont donc les mécanismes qui nous permettraient d'obtenir les niveaux de sécurité désiré X^{**} et Y^{**} avec $X^{**} > X^{*}$ et $Y^{**} < Y^{*}$?

Dans la littérature économique il y a au moins quatre méthodes majeures pour résoudre le problème des externalités. Il y a les mécanismes classiques tels que l'internalisation par la fusion des décideurs, les taxes et subsides et la création de droits de propriété donnant lieu à des échanges entre générateurs et bénéficiaires ou victimes d'effets externes. On trouve également les interventions gouvernementales directes que sont les diverses réglementations de la route et les mécanismes légaux de responsabilité pour négligeance faisant réference à un niveau de sécurité socialement choisi selon un processus plus ou moins complexe (Boyer et Dionne).

Avant d'aller plus loin, nous allons examiner l'effet des externalités sur notre modèle de prise de décision tel que définit dans le chapitre précédent.

Intuitivement, on doit s'attendre à ce que le parcours ou les parcours sélectionnés à partir des critères énoncés dans le chapitre précédent ne vont pas être nécessairement sélectionnés lorsqu'on tient compte des externalités.

En effet dans le chapitre précédent il y avait seulement un problème d'arbitrage entre une vitesse plus élevée (bénéfice plus élevé) et un niveau d'autoprotection élevé (risque moins élevé), alors que dans le cas présent on doit également tenir compte des individus exposés et de l'environnement. Donc nous sommes en

présence d'un arbitrage à trois facteurs : vitesse, niveau d'activité d'autoprotection et dommage causé à la société.

De sorte que la prise en compte des externalités pourrait nous conduire à des décisions tout à fait contraires à celles obtenues l'orsqu'on applique la méthode de McFadden au modèle sans externalité (section II.3). Par exemple :

$$Z_{i1}(X_{i1}^{*},Y_{i1}^{*},y_1,q_1) > Z_{i2}(X_{i2}',Y_{i2}',y_2,q_2)$$

deviendrait :

$$Z_{i1}(X_{i1}^{**},Y_{i1}^{**},y_2,q_2) < Z_{i2}(X_{i2}'',Y_{i2}'',y_2,q_2)$$

et comme il est évident que :

$$Z_{i1}(X_{i1}^{*},Y_i^{*},y_1,q_1) > Z_{i1}(X_i^{**},Y_i^{**},y_1,q_1)$$

Il nous faut donc trouver le ou les mécanismes adéquats qui vont nous permettre d'améliorer notre modèle de départ et de réduire l'écart entre les deux niveaux de bien être obtenus lorsqu'on tient ou pas compte des externalités.

4)-REGLEMENTATIONS ET ALLOCATIONS OPTIMALES DES RESOURCES (efficacités et limites)

L'intervention gouvernementale peut être une manière de remédier à la situation précédente. En effet par ses actions et lois (interdiction de transporter des marchandises dangereuses à travers les niveaux élevés ou déprimés d'une autoroute ainsi que les tunnels, restriction du transport de ces marchandises a certaines heures

de la journée en évitant les heures de pointe ...), un gouvernement peut modifier les niveaux de la sécurité au point où ils atteignent les niveaux socialement optimaux. Cependant on doit tenir compte du fait que les interventions gouvernementales ne vont pas nécessairement nous mener aux niveaux optimaux (X^{**},Y^{**}) mais à des solutions Pareto efficaces du second ordre car ces interventions peuvent engendrer des coûts supplémentaires. L'efficacité de l'intervention va dépendre de l'ampleur de ces coûts par rapport à la diminution des externalités.

L'utilisation des taxes et des subsides étant pratiquement impossible étant donné que le gouvernement ne peut pas observer directement les activités de prévention des individus (Boyer et Dionne, 1984) il s'agit de trouver d'autres méthodes.

Boyer et Dionne (1984) ont démontré que le gouvernement ne peut pas intervenir directement sur X et Y mais peut cependant intervenir directement sur la probablité et les coûts reliés aux accidents (l1) en imposant des lois (vitesse limite, voies à sens unique). A partir de ces mécanismes le gouvernement réduit la probabilité d'accident en forçant les individus à adopter des niveaux d'activité et de vitesse qui seraient plus élevés pour X et moins élevés pour Y que les niveaux d'équilibre des entreprises prises individuellement.

Utilisons l'approche de Boyer et Dionne et reprenons notre modèle en lui rajoutant une variable supplémentaire "a": réglementation gouvernementale qui interviendrait sur le modèle au niveau de p la probabilité que l'individu exposé au déversement de la marchandise dangereuse soit affecté de sorte que $\partial p / \partial a \leq 0$.

Par exemple en imposant des normes strictes visant la conception, la fabrication et l'homologation des emballages et des citernes routières ou bien en imposant des restrictions horaires au transport des marchandises dangereuses.

Par ailleurs ce genre d'interventions peut générer des coûts directs, des taxes supplémentaires ou encore des coûts supplémentaires en termes d'utilité (conduire un camion plus lourd dû au renforcement de la citerne, travailler durant des heures tardives).

Ce qui implique que "a": action gouvernementale ne peut être prise que si :

$$(5)\quad (\partial Z_{ij} / \partial a)+(\partial V / \partial a) \geq 0$$

avec $Z_{ij} = P(X_i,Y_i,y_j,q_j).U(S(Y_i)-l_1) + (1 - P(X_i,Y_i,y_j,q_j)).U(S(Y_i)) - C(X_i,a)$

avec $\partial C / \partial a \geq 0$

et $V = p(X_i,Y_i,a).V(W-l_2) + (1-p(X_i,Y_i,a)).V(W)$

Si on avait à choisir entre une réglementation parmi plusieurs alors on choisira la réglementation "a_1" si et seulement si:

$$(\partial Z_{ij} / \partial a_1) + (\partial V / \partial a_1) \geq 0$$

et si pour s = 2,3..

$$(\partial Z_{ij} / \partial a_1) + (\partial V / \partial a_1) \geq (\partial Z_{ij} / \partial a_s) + (\partial V / \partial a_s) \geq 0$$

Et si on suppose que "a" n'a pas d'influence sur les niveaux de X_i et Y_i de l'entreprise de camion la condition précédante peut se réduire à:

$$(6)\ -\partial C(X_i,a) / \partial a + (\partial p(X_i,a) / \partial a).[\ V(W-l_2) - V(W)\ ] \geq 0$$

Les inégalités (5) et (6) supposent que le but pour justifier l'intervention gouvernementale n'est pas de réduire au maximun la probabilité d'incidence du déversement des marchandises dangereuses sur la population exposée mais de maximiser autant que possible le bien être de la société.

De sorte qu'il semblerait plus logique de calculer la probabilité optimale d'incidence pour une société plutôt que de chercher à minimiser cette probabilité.

Cependant il va falloir mesurer l'efficacité de "a" dans sa réduction de la probabilité d'incidence sur l'individu exposé. L'analyse de cette efficacité comporte comme l'ont souligné Boyer et Dionne des aspects techniques et comportementaux. Sur le plan comportement il peut y avoir des problèmes au niveau de la perception subjective des individus face à cette réglementation, Pelzman (1975) qui est un adepte de l'approche subjective face au risque soutient qu'une intervention gouvernementale peut affecter le choix de l'individu dans sa production privée de sécurité. Ce qui impliquerait dans notre cas que les entreprises se sentant plus en sécurité avec les nouvelles normes d'emballages vont réduire leurs niveaux d'autoprotection et probablement que les chauffeurs vont conduire plus rapidement, donc X et Y ne sont plus indépendants de "a", autrement dit, ils deviennent fonction de "a".

Comme P (la probabilité d'accident) est fonction de X et Y on aura dans ce cas pour $\partial p / \partial a \leq 0, \partial P / \partial X \geq 0$ et $\partial P / \partial Y \geq 0$.

Il s'agit donc de comparer tous ces effets en y rajoutant les coûts relatifs à la mise en place de la réglementation pour décider de l'efficacité de cette dernière.

Dans ce cas il est très difficile de prédire à l'avance les effets totaux d'une intervention gouvernementale.

Par ailleurs l'entreprise peut être affectée par l'intervention gouvernementale qui crée des bénéfices supplémentaires mais des coûts plus élevés. Par exemple une réglementation reliée à une voie spéciale pour les camions sur les autoroutes avec une vitesse limite inférieure à la limite imposée aux autres véhicules qui empruntent la même autoroute, occasionnera la réduction de la consommation d'énergie (vitesse réduite) à l'entreprise de transport mais réduira le nombre de voyages. Si l'entreprise juge que la perte reliée à la réduction de son activité est supérieure au bénéfice lié à la consommation de carburant elle ne changera pas son comportement et préferera payer une contravention plutôt que de suivre le réglement.

D'ailleurs une étude faite par Boyer et Dionne en 1984 a montré que les individus averses au risque préfèrent les activités gouvernementales de sécurité qui réduisent la perte relié à l'incident (11) aux activités gouvernementales de protection qui réduisent la probabilité d'incidence lorsque les deux ont la même espérance .

Une manière de montrer comment la réglementation gouvernementale affecte la décision individuelle en présence d'externalités est d'intégrer par exemple au modèle un régime d'assurance public avec des contrats à plusieurs périodes (Boyer et Dionne) et de voir comment ce mécanisme va régler le problème lié aux externalités. C'est à dire jusqu'à quelle limite les entreprises de transport des marchandises dangereuses vont agir de façon efficace quant à leur choix d'autoprotection et de

vitesse. Ce genre de problème relève celui de l'asymétrie d'information que nous préférons ignorer car c'est surtout les externalités qui nous préoccupent.

Une intervention directe du gouvernement consisterait à inciter les individus à produire de la sécurité sur une base volontaire par le marché. Par exemple en imposant des frais à l'obtention d'un permis de transport pour chaque voyage impliquant le transport des marchandises dangereuses. Ceci va réduire le nombre de voyages et l'on se trouvera à résoudre un problème de congestion.

Afin d'intégrer ce phénomène à notre sujet nous allons procéder avec la méthode de Stiglitz et Arnott.

5)-CORRECTION DE L'INEFFICACITE DUE AUX EXTERNALITES

A)-Introduction

Dans leur article Stiglitz et Arnott citent quatre variables critiques desquelles dépend la sécurité routière et pour lesquelles le libre marché n'a pas trouvé de solutions optimales.

a) Le niveau et caractéristiques des infrastructures publiques.

b) Le niveau et caractéristiques des dépenses privés.

c) Le niveau de congestion.

d) La qualité et l'étendu des réglementations.

Ils disent que les sources de plus grande inefficacité du marché face à la sécurité routière sont :

a) La congestion.

b) L'assurance par un système de responsabilité pour négligence.

Ils préconisent par ailleurs l'imposition de coûts liés à la congestion comme réglementation gouvernementale pour améliorer la sécurité routière en se basant sur le résultat de Strotz (1965) pour incorporer l'effet de la congestion sur la sécurité.
Ils ont obtenu la conclusion suivante :
La sécurité peut être améliorée en réduisant la congestion; la congestion peut être réduite en imposant des coûts efficients; et une réglementation visant l'imposition de coûts liés à la congestion doit être adoptée.

Dans un premier temps les auteurs ont ignoré la question d'équité en supposant qu'ils sont en présence d'un seul mode de transport.

C'est en nous basant sur cette première extension du modèle de Strotz que nous allons examiner le problème .

Par ailleurs à la place d'une réglementation consistant à imposer un payage obligatoire sur les routes sujettes à congestion, on suggère l'imposition d'un permis spécial pour chaque voyage impliquant le transport des marchandises dangereuses dont la valeur va dépendre des caractéristiques et de la quantité transportée de la marchandise en question.

B- Description du modèle de base

Soit n : le nombre d'entreprises identiques de transport des marchandises dangereuses.

q : la fréquence des voyages pour chaque usager.

B(q) : le bénéfice brut d'une entreprise avec $B' > 0$ $B'' < 0$.

I : la capacité d'infrastructure publique.

N : n.q, le nombre total de voyages.

C(N,I) : le coût d'un voyage en fonction du nombre total de voyages

$CN = \partial C / \partial N > 0$, $CI = \partial C / \partial I < 0$.

K(I) : coûts d'amortissement des infrastructures publiques

avec $K'(I) > 0$.

Les auteurs avancent que dans une économie planifiée, le planificateur va choisir q et I pour maximiser le surplus social SS de sorte que:

SS = bénéfices sociaux (BS) - coûts sociaux (CS) des voyages.

(1) $SS = BS - CS$

$= n.B(q) - n.q.C(n.q,I) - K(I)$

Les coûts sociaux sont les coûts des voyages plus les coûts de construction des infrastructures publiques.

La détermination des niveaux socialement optimaux de n et I se fait alors de la manière classique en dérivant les conditions du premier ordre de l'équation (1) ce qui nous donne :

(2) $q : n.(B' - (C+n.q.CN)) = 0$

(3) $I : -n.q.CI - K' = 0$

L'équation (2) établit que chaque entreprise doit choisir le nombre de voyage au point où le bénéfice marginal social ($B' = \partial B / \partial q$) d'un voyage soit égal au coût marginal social ($C + n.q.CN$). Il y a donc deux coûts associés à un voyage supplémentaire, le coût relié au voyage lui même et le coût additionnel de congestion causé par le voyage.

Dans la terminologie classique : C est alors le coût marginal privé CmP

N.CN le coût marginal de la congestion ou le coût d'externalité et $\partial N.C / \partial N$ le coût marginal social .

L'équation (3) indique, par ailleurs que la capacité de l'infrastructure publique devrait être améliorée au point où K' est égal au bénéfice marginal -n.q.CI. Une unité d'amélioration de l'infrastructure réduit le coût de chaque voyage par -CI et n.q voyages sont alors entrepris.

Par contre dans une économie de marché, c'est le gouvernement qui choisit l'infrastructure publique, alors que les entreprises décident du nombre de voyages à entreprendre. Le gouvernement doit choisir le niveau du montant de l'autorisation de sorte que chaque entreprise choisira le nombre de voyages socialement optimal.

Chaque individu maximise individuellement son surplus privé de sorte que; SP = BP(bénéfice privé) - CP(coût privé). Pour le moment il est supposé que le bénéfice social privé du voyage et le bénéfice privé individuel coincident (c'est à dire qu'il n'y a pas d'externalités liées au voyage).

Le coût privé par voyage est alors C(N,I) + T

avec T : le coût de l'autorisation de transport des marchandises dangereuses . Ainsi le surplus privé de l'entreprise est égal à :

(4) $SP = B(q) - q.C(N,I) - T.q$

La dérivation de l'équation (4) par rapport à q nous donne :

(5) $B' - C(N,I) - T = 0$

L'entreprise entreprend alors un nombre de voyages au point où son bénéfice marginal privé soit égal à son coût marginal privé.

La solution de (5) peut s'écrire N = N(I,T) ; ce qui donne le nombre de voyages total dans une économie de marché avec une infrastructure I et une autorisation coûtant T . Calculons alors le coût optimal de l'autorisation.

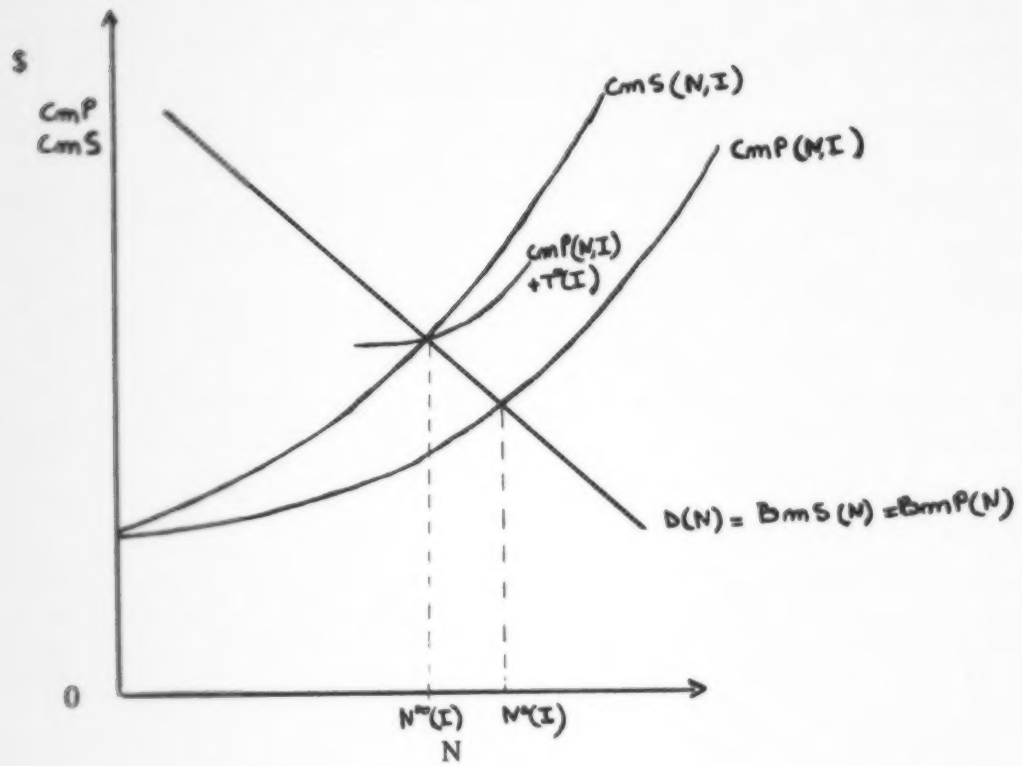
Lorsqu'on compare les deux équations (2) et (5), il paraît évident que l'entreprise ne va choisir le niveau optimal de nombre de voyages que si:

$T^*(I) = N(I,T^*(I)).CN.(N(I,T^*(I)),I)$

où $T^*(I)$ est le montant optimal de l'autorisation pour la capacité I.

Si le montant de l'autorisation est posé égal à la valeur de la congestion optimale sociale, ceci va inciter les entreprises à faire face au coût marginal social de chaque voyage et à choisir le nombre de voyages socialement optimal.

FIGURE III.4 : Nombre de voyages socialement optimal



Source : Stiglitz et Arnott (Safety, users and public infrastructure)

$N^{\circ\circ}(I)$ BmS(N) = CmS(N,I) ; niveau de voyages socialement optimum

$N^{\circ}(I)$ BmP(N) = CmP(N,I) ; niveau de voyages individuellement optimal

Puisque $N^{\circ}(I) > N^{\circ\circ}(I)$: pour réduire le nombre de voyages, un coût lié à une autorisation de voyage doit être imposé de sorte que chaque voyage additionnel coûte CmP + T.

Et si le gouvernement donne la valeur :

$$T^{*}(I) = CmE.(N^{**}(I),I) = CmS.(N^{**}(I),I) - CmP.(N^{**}(I))$$

avec CmE: coût marginal des externalités .

Alors l'entreprise va choisir le nombre de voyages socialement optimal.

Dans ce chapitre nous avons démontré comment la présence d'externalités engendre des inefficacités quant aux choix des activités d'autoprotection et de la vitesse et nous avons étudié les mécanismes gouvernementaux existants dans la littérature qui sont succeptibles de les contrer. Cependant nous n'avons pas recommandé une de ces réglementations en particulier car leurs efficacités dépend d'un certains nombre de facteurs comme l'impact global de cette réglementation sur l'espérance d'utilité de l'entreprise et des individus exposés , du degré d'aversion au risque des individus, de la perception subjective face au risque...etc.

IV)-REVUE DE LA LITTERATURE POUR L'EVALUATION DU RISQUE ET LA SELECTION DES PARCOURS OPTIMAUX CONCERNANT LE TRANSPORT DES MARCHANDISES DANGEREUSES

1)-LES METHODES D'ESTIMATION DU RISQUE

L'estimation du risque relié au transport des marchandises dangereuses implique la détermination des fréquences et conséquences des évènements indésirables, puis l'évaluation des risques associés en termes quantitatifs (Glickman, 1985).

Les études précédentes pour l'estimation du risque ont révélé qu'il existe plusieurs composantes différentes pour évaluer le risque. Cependant il est difficile de définir la meilleure combinaison pour représenter la mesure du risque générale pouvant s'adapter à n'importe quelle circonstance. C'est ainsi qu'on a exprimé le risque en termes d'indices de la population (Pijawka, Scalan et Cantilli, 1985), de coût total en dollars pour la société (Saccamanno et Chan, 1985), de population moyenne et emplois exposés par mile (Kessler, 1986), de fréquence espérée de déversement (Abkowitz, Eiger et Srinivasan, 1984) ou de fréquence de fatalités.

L'estimation des conséquences des incidents impliquant le transport des marchandises dangereuses dépend d'un paquet de facteurs comme le degré de toxicité de la marchandise, le degré de gravité des effets de la marchandise déversée sur la santé, les caractéristiques de la population et de l'environnement adjacents et des conditions climatiques au moment de l'accident.

En général il y a deux types de dommages résultant d'un déversement d'une marchandise dangereuse :

-Les dommages directs aux individus qui sont directement impliqués dans l'accident et aux propriétés directement affectées par l'incident des marchandises dangereuses.

-Les dommages indirects aux individus exposés mais non directement impliqués dans l'accident et les dommages à l'environnement.

Les méthodes d'estimation pour les dommages directs sont nombreuses alors que les méthodes pour les dommages indirects sont beaucoup plus rares.

Afin d'estimer la fréquence, les conséquences et le risque reliés au transport des marchandises dangereuses, plusieurs approches statistiques ont été utilisées. Les plus connues sont décrites ci-dessous :

A)-L'inférence statistique :

C'est la méthode la plus communément utilisée pour estimer le risque. Elle suppose que les données statistiques existent pour déterminer la vraisemblance et la conséquence des évènements futurs.

La méthodologie suppose que les incidences d'un système se réalisent de façon indépendante et avec des probabilités constantes. Ainsi il est possible avec des expériences ou des données du passé d'extrapoler le futur.

Cette méthodologie a été utilisée par Abkowitz et List (1987) dans une étude conduite afin de développer les taux des dommages escomptés pour le transport des marchandises dangereuses .

B)-Les arbres de fautes et d'événements :

Deux structures particulières d'arbre ou d'événement sont intéréssantes dans une analyse visant un accident relié au transport des marchandises dangereuses: l'arbre de fautes et l'arbre d'évenements.

Un arbre d'évènements est formé par une séquence de variables aléatoires (continues ou discrètes) ou par un ensemble d'évènements qui peuvent être associés à des variables aléatoires avec une distribution de probabilité définie.
Le point de branchement auquel une autre variable est introduite dans l'arbre est appelé un noeud. Chaque noeud est suivit par la réalisation possible de cette nouvelle variable et sa probabilité de réalisation est condionnelle aux valeurs des variables aléatoires précédantes dans l'arbre. La manière la plus commune de construire un arbre de décision est d'utiliser une logique déductive c'est à dire en commençant avec un évènement initial, énumèrer toutes les conséquences possible et de déterminer le résultat de chaque séquence considérée.
A cause que la probabilité de chaque évènement est conditionnelle à la réalisation des évènements qui le précèdent dans l'arbre, la probabilité de la réalisation simultanée des évènements qui constituent une séquence est calculée par la multiplication des probabilités de réalisation de tous les évènements.

Un arbre de faute est formé par des évènements souvent décrits par des variables binaires et relié par des fonctions logiques essentielles "ou" et "et".

On peut construire des arbres de fautes en utilisant la logique inductive c'est à dire en identifiant l'évènement de défaillance du sommet de tout ou d'une partie du système et identifier de façon séquentielle les unions et intersections qui décrivent chaque variable binaire successive.

Finalement ce que l'arbre de fautes ou d'évenements permet est d'obtenir une identité logique entre l'évènement du sommet et un ensemble d'évènements de base. Puis, sur la base de cette identité on est capable d'estimer la probabilité de l'évènement du sommet comme une fonction des probabilités des évènements de base.

C)-Les modèles analytiques et de simulation

Les approches analytiques et de simulation pour l'estimation du risque expriment les opérations du système en termes de paramètres fonctionnels représentant le système et les facteurs internes. Les conditions sous lesquelles les incidents se réalisent et la réalisation des conséquences sont associées à des combinaisons spécifiques des valeurs de ces paramètres.

Dans le cas des simulations, les paramètres sont stochastiques et les valeurs sont présentées par des distributions de probabilités souvent dérivées de données empiriques. Les simulations sont faites lorsque les valeurs des paramètres sont prises à partir de ces distributions pour former des scénarios potentiels. Des simulations répétées doivent être entreprises pour créer un échantillon adéquat de scénarios à partir desquelles des évaluations peuvent être conduites.

Les modèles analytiques sont simples et leur utilisation a été typiquement appliquée aux composantes du risque comme le développement d'un modèle pour la réalisation d'un incident, qui est souvent représenté sous la forme d'un modèle de Poisson.

Une approche analytique typique est de supposer que les déversements sont des événements qui se réalisent de façon aléatoire sur une distance sur laquelle la marchandise est transportée (Menzie, 1979). Le nombre de déversements, "n", se réalisant sur une distance, L, est une variable aléatoire ; si l'hypothèse d'indépendance est vérifiée, alors "n" suit une distribution de Poisson de paramètre V.L:

$$P(n) = ((V.L)^n / n !).e^{-V.L}$$

où V représente le nombre moyen de déversements par mile qui peut être facilement dérivé à partir de données empiriques.

La loi de Poisson est, en effet une distribution binomiale pour un grand nombre d'evènements indépendants qui se réalisent avec une fréquence très petite (déversement). Elle a été beaucoup utilisée pour estimer la probabilité de déversement des déchets radioactifs reliée à leur transport. La distribution de Poisson a été utilisée pour déterminer la probabilité d'un ou plusieurs déversements qui se réalisent sur une distance donnée ainsi que le nombre le plus probable de déversements.

Si l'équation précédante s'applique alors L obéit a une distribution exponentielle de paramètre V:

Soit g(L) la fonction de densité de probabilité pour $L=Ve^{-VL}$.

Le taux moyen de déversement est définit comme le nombre espéré de déversements se réalisant sur un intervalle de distance d'une unité et est dénoté par V.

La distance espérée entre deux déversements peut être calculée comme suit:

$$E[L] = 1/V$$

Le nombre d'années moyen entre deux déversements est estimé à partir de:

$$R = 1/V.\delta$$

ou R est égal à l'intervalle de récurrence, V le nombre de déversements par mile, et δ le nombre moyen de miles par année. Il est a noté que la relation réciproque entre le taux moyen de déversement et la distance moyenne est une implication de l'hypothèse de déversement de la loi de Poisson et ne peut pas tenir pour d'autres types de distributions de déversement.

D)-L'analyse bayésienne

Cette approche permet d'utiliser des informations à priori pour calculer les probabilités. Elle se base essentiellement sur le théorème de Bayes.

$$P(A/B) = P(A).(P(B/A)/P(B))$$

où A et B représentent des informations relatives au même évènement derivées de différentes sources et P(A) represente la probabilité à priori.

Cette méthode a été utilisée par Kaplan et Garrick pour les décisions relatives à la sécurité routière.

E)-Méthodes mathématiques pour l'estimation des dommages indirects d'un accident impliquant le transport des marchandises dangereuses :

La distibution logistique:

La distribution mathématique la plus utilisée pour calculer la probabilité d'incidences des déversements des marchandises dangereuses sur la population exposée est la distribution logistique:

$$P = \{ 1 + \exp [-(X-\mu)/\sigma] \}^{-1}$$

En effet un nombre important de considérations indiquent qu'une approche logistique à l'analyse des blessures résultant des incidences des marchandises dangereuses est raisonnable. En particulier la forme sigmoide générale de la fonction de distribution cummulative est acceptable, dans le sens où lorsqu'il y a une gravité mineure, seulement quelques personnes sont blessées et plus l'accident est grâve, plus d'individus sont blessés. Finalement tous les individus peuvent être blessés lorsqu'il y a un accident très grave .

F)-Méthode mathématique pour la détermination de la surface exposée au déversement des marchandises dangereuses

La détermination de la surface d'exposition lorsqu'un accident se réalise est aussi une importante composante pour estimer le dommage indirect d'un incident impliquant des marchandises dangereuses. Une revue de la littérature concernant la surface d'impact et la distance d'évacuation recommandée a révélé un rayon variant entre 0.25 à 3 miles, dépendant de la capacité de déversement de la marchandise et des conditions climatiques au moment de l'accident [IFC,1984].

Il y a eu plusieurs modèles mathématiques pour représenter l'ampleur du déversement chimique dans l'environnement. Il est supposé que lorsqu'un incident se réalise la matière se déverse à taux continu et que la population potentielle exposée au risque se limite aux personnes adjacentes au parcours du transport.

Les concentrations environnementales des substances déversées dans l'air basées sur les conditions atmosphériques peuvent être représentées comme suit :

$$C = Re / \Pi.\sigma y.\sigma z.v$$

avec:

C : La concentration des constituents à une distance à partir du point de déversement (mg/m^3).

Re :Taux de déversement des constituents à partir du point source (mg/min).

σy : dispersion dans la direction latérale (mètres).

σz : dispersion dans la direction verticale (mètres).

v : vitesse moyenne du vent (mètres/minute).

Bien qu'il soit reconnu que l'estimation des concentrations atmosphériques à partir du point source en utilisant cette formule introduit de l'incertitude, elle reste une bonne approximation pour estimer le degré de concentration de la pollution.

La dose chimique reçue par un individu exposé est estimé [IFC,1984] à :

Dair =(0.28).(Cair) pour un individu pesant 60 Kg

où Dair est la dose reçue à partir de l'air, et Cair la concentration de la matière dérivée de l'équation précédante.

Les risques associés à la santé ont été exprimés non seulement en fonction du degré d'exposition mais également en fonction du degré de toxicité de la marchandise en question. La toxicité a été définie en termes de trois facteurs :

- H : La probabilité de dommage par unité de dose de la matière.
- K : La forme de la courbe dose-réponse.
- S : La mesure du degré de dommage de la matière (blessures superficielles, blessures mortelles, dommages progessifs à la santé, maladies incurables).

Ces trois facteurs combinés à la dose chimique donne la formule du risque de la santé humaine :

Risque relié à la santé de l'individu i :

$$(RHi)= H.S.(Dair)^K$$

Si on dénote par Gi la variable dichotomique qui prend la valeur 1 ou 0 lorsque l 'individu i est affecté par un degré de gravité spécifique de blessures ou pas, et posons CT la variable aléatoire représentant le degré critique de blessure pour un individu (Krishman, et Al.,1984), on obtient :

Gi = 1 si RHi > CT

Gi = 0 autrement

Puisque comme nous l'avons déjà mentionné plus haut il y a une grande attention à la fonction logistique alors nous pouvons exprimer la distribution de CT comme :

$$PROB(CT \leq Z) = [\ 1 + \exp(-Z)\ ]^{-1}$$

La transform ation logarithmique utilisée pour le risque relié à la santé humaine nous donne :

$$RH = \ln H + \ln S + K.\ln Dair$$

Ainsi la probabilité de blessure pour l'individu i est :

$$Pi = [\ 1 + \exp(-RH)\ ]^{-1}$$

Par ailleurs il existe dans la littérature économique plusieurs méthodes relatives à l'estimation de la valeur de la vie humaine et parmi les approches les plus connues nous avons la méthode du capital humain et la méthode de la volonté à payer (Willingness to pay approach).

La première se base sur l'actualisation des gains futurs des individus jusqu'a un âge donné des personnes qui décèdent accidentellement. La deuxième est fixée sur la

prime maximale qu'on est prêt à payer pour réduire d'un certain pourcentage notre probabilité de subir un accident grâve ou mortel. La méthode du capital humain a été beaucoup critiquée par les économistes car elle semble négliger la valeur de la vie des gens qui ne travaillent pas (femme au foyer, retaités) et on lui repproche son manque de rationnalité économique surtout pour les études bénéfice / coût. Alors que l'approche de la volonté à payer a eu beaucoup de succès auprés des économistes. Parmi les adeptes de cette dernière approche nous avons Mishan (1971) et Blomquist (1979).

Il y a eu plusieurs études concernant le risque associé au transport de plusieurs types de marchandises dangereuses. Dans le domaine spécifique du transport des déchets nucléaires Hall et Mc Sweeney (1975), Hall (1976), Mc Sweeney et Johnson (1976) et Andrews (1983) se sont intéressés principalement aux choix de modes de transport (camion, train, avion, bateau) et des types de contenaire. Ils ont beaucoup utilisé les méthodes d'arbres et de fautes. De telles analyses ont donné beaucoup d'information sur les aspects du risque associé au transport des déchets radioactifs, mais ne sont pas valables pour analyser les options de routes et la réglementation car elles sont très coûteuses et les structures des modèles sont orientées sur des ensembles d'objectifs différents pour choisir les parcours optimaux.

Les modèles les plus spécifiques pour le choix des routes ont été developpés par Joy et Johnson (1983) pour les autoroutes et Glickman (1983) et Peterson (1985) pour le transport par train.

Tous les modèles énumérés ci-dessus se sont surtout intéréssés à optimiser un seul critère pour la sélection de la route qui minimise le risque.

Un effort rudimentaire intégrant des critères multiples pour le choix des routes optimales pour le transport des marchandises dangereuses est le tavail réalisé par Robbins (1981). Saccomano et Chan (1985) ont été les premiers à décrire une analyse pour le choix des réseaux optimaux d'autoroutes en utilisant plusieurs critères, mais en utilisant un modèle qui ne peut tenir compte que d'un seul critère à la fois.

Philipson et Al. (1983) quant à eux ont insisté sur le fait que l'estimation du risque dépend de l'analyse pour la préférence pour le risque et non pas sur la quantification du risque.

Plusieurs autres auteurs se sont également intéressés à l'analyse du risque dans le domaine du transport des marchandises, parmi les plus connus Rhoads et Al. (1985), Menzie (1979), Meslin (1981), Abkowitz et Al. (1984) Kessler (1985), Abkowitz et Al (1984), Considine (1985), Tomachevsky et Al (1985).

Dans la littérature de la recherche opérationnelle plusieurs différentes approches relatives à la sélection du chemin optimal pour le transport des marchandises sont apparues. Ces approches utilisent des algorithmes très sophistiqués qui tiennent compte de plusieurs objectifs.

La plupart des méthodes décrites ci-dessus se sont intéréssées à une seule substance ou classe de marchandises et ont inclus un ensemble de mesures de risques. Cependant aucune mesure systématique n'a émergé de ces efforts. Plus encore la plupart ont été remises en question à cause de leur négligence concernant le grand risque impliqué par le transport des marchandises dangereuses particulièrement en ne considérant pas la distribution de la sévérité des incidents et

des accidents.

Aprés avoir fait un résumé de la littérature concernant l'estimation du risque et la sélection des parcours optimaux pour le transport des marchandises dangereuses, nous proposons de décrire en détail deux méthodes pour la séléction des parcours optimaux ; La première est la méthode utilisée par Transports Canada que nous jugeons très incomplète et la deuxième est proposée par deux ingénieurs (Abkowitz et Der Ming Cheng) qui se sont beaucoup intéréssés à ce sujet et que nous jugeons la meilleure de toute la littérature que nous avons parcourue.

2)-DESCRIPTION DE LA METHODE DE SELECTION DE PARCOURS POUR LE TRANSPORT DES MARCHANDISES DANGEREUSES UTILISEE PAR TRANSPORTS CANADA (1987)

La formule de base est :

RISQUE =

PROBABILITE D'ACCIDENT . (EXPOSITION DE LA POPULATION
+ EXPOSITION DES BIENS
+ EXPOSITION DE L'ENVIRONNEMENT)
/ VITESSE D'INTERVENTION DES SECOURS

La méthode consiste d'abord à identifier les parcours, à les décrire, à calculer le

temps nécessaire pour les parcourir et surtout de relever toutes les contraintes physiques et juridiques les concernant.

L'identification des routes possibles peut se faire à l'aide d'une carte routière de la ville et de la région sur laquelle on identifie les points d'origines et de destinations.

Un code est alors attribué à chaque route (deux parcours partageant certains segments doivent avoir un code différent). Pour chaque possibilité, on indique la longueur du parcours et on estime le circuit :

CIRCUIT = longueur du parcours (km) / longueur du parcours le moins long

Le circuit représente la distance additionnelle qui est parcourue le long d'un parcours donné et constitue l'une des mesures des coûts de transport et du temps de déplacement pour chaque parcours.

A)-Méthode de calcul des composantes du risque:

1) LA PROBABILITE D'ACCIDENT est calculée selon la formule :

Taux d'accident . longueur du parcours

avec le taux d'accident exprimé en nombre d'accidents par millions de kilomètres.

La probabilité d'accident peut également être calculée selon les principales caractéristiques de la route comme le volume moyen du trafic, le nombre de

voies...etc. Il est supposé que les véhicules transportant les marchandises dangereuses sont exposées aux mêmes dangers que tous les véhicules sur la route.

2) L'EXPOSITION DE LA POPULATION : est estimée selon le nombre de personnes pouvant être exposées au risque de déversement des matières dangereuses.

3) L'EXPOSITION DE L'ENVIRONNEMENT : consiste à calculer la superficie en hectares des environnements exposés.

4) L'EXPOSITION DES BIENS : est exprimée en fonction du coût de remplacement des biens exposés.

5) LA CAPACITE D'INTERVENTION : est estimée en fonction du nombre de services d'incendie, du nombre de voitures de police pouvant intervenir sur le parcours et le nombre d'ambulances disponibles.

Contrairement aux autres composantes qui augmentent le risque lorsqu'elles varient positivement, la dernière composante décrite plus haut elle, le réduit. Cette composante joue un rôle très important dans les zones urbaines où il existe des services de pompiers qualifiés, un équipement plus important et là où une plus grande population est exposée au deversement des matières dangereuses.

Une fois les résultats des calculs de chaque facteur obtenus, il s'agit de comparer les résultats entre eux, de calculer le risque pour chaque parcours et enfin de sélectionner le ou les parcours comportant le minimum de risque possible.

B)-Critique de la méthode

Cette méthode vise à encourager l'utilisation des routes plus ou moins sûres pour attenuer les effets de déversement des marchandises dangereuses en tenant les produits transportés en grande quantité et présentant des risques élevés à l'écart des régions à forte densité de population, des biens et de l'environnement. Elle vise également à aider les services d'urgence à se concentrer sur les parcours les plus risqués.

Malgré tous ses avantages, cette méthode semble montrer certaines lacunes. En effet:

* La probabilité d'accident telle que définie ne semble pas refléter la gravité de l'accident et plus précisément s'il y a eu déversement ou pas des matières dangereuses, ce qui fait que la probabilité d'accident serait plus pertinante si elle était composée de deux facteurs à savoir :

-probabilité d'accident en fonction du véhicule de transport et des conditons des routes.

-probabilité de déversement dépendant du désign du contenaire, de la nature de la matière et des conditions d'accidents.

Mais comme il est difficile de trouver des données disponibles à cet effet, il s'agit de trouver une mesure pour la gravité d'accident pouvant être prise en compte dans le risque d'accident.

Exemple: le taux d'accident entrainant la mort du chauffeur du camion peut être un bon indicateur de la gravité d'accident.

* Dans l'estimation de l'exposition de la population on remarque une faiblesse de la formule utilisée car on ne recense que les effets directs et les effets économiques mais on ne tient pas compte des effets de long terme (cancer, degré de pollution des eaux, etc...)

Mais vu la difficulté d'estimation de ces effets qui nécessiterait l'aide d'experts en médecine et en écologie d'où des coûts supplémentaires, cette méthode est jugée valable.

*Par ailleurs cette méthode se base exclusivement sur le risque relié aux parcours et ignore les caractéristiques propre de l'individu comme par exemple : son degré d'aversion au risque, ses activités d'autoprotection et ses activités économiques.

3)-DEVELOPPEMENT D'UN MODELE RISQUE / COUT POUR LE TRANSPORT DES MARCHANDISES DANGEREUSES (Mark Abkowitz et Paul Der Ming Cheng, 1988)

Le but du modèle est d'incorporer et de faire jouer une relation d'arbitrage entre le risque et le coût dans un système pour la sélection d'un parcours optimal pour le transport des marchandises dangereuses. Une attention considérable a été accordée à l'estimation du risque afin d'éviter le problème d'incertitude qui lui est relié. C'est pourquoi ces auteurs distinguent dans l'équation utilisée pour estimer le risque les types de marchandises, les catégories de déversements ainsi que les gravités de blessures. Les coûts dont ils ont tenus compte sont résumés en des coûts de temps et en des dépenses directes reliées à l'activité de transport.

A)-Description de la méthode :

L'expression utilisée pour définir le risque sur un segment j de la route est :

$$B^{jl} = \Sigma B_r^{jl} \quad (\Sigma \text{ sur } r)$$

Avec $B^{jl} = P_r^{jl}.L^j.[D_r^l.C_D + I_r^l.CI + M_r^l.C_M + CP_r^l + P_I.(l,V,Fr).A^j.(POP)^j.C_M]$

Pour le cas d'incidents causés par les accidents des véhicules :

$$P_r^{jl} = Q_r^l.E^j$$

où

r : catégorie de déversement

j : segment j

l : type de marchandise

P_r^{jl} : probabilité unitaire par mile d'un déversement de la catégorie r se réalisant sur le lien j pour la marchandise l

L^j : distance du lien j

D_r^l : nombre de fatalités moyen des individus directement impliqués dans un incident de déversement de catégorie r et d'une marchandise du type l

C_D : coût moyen des fatalités en dollars (Saccomanno et Chan, 1985)

I_r^l : nombre de blessures grâves des individus impliqués directement dans un

incident de déversement de catégorie r de la matière l

C_l : coût moyen des blessures grâves en dollars

M_r : nombre de blessures mineures moyen des individus impliqués directement dans l'incident de déversement de la catégorie r de la marchandise l

C_M : coût moyen des blessures mineures

CP_r^l : dommage moyen aux propriétés pour le déversement de la catégorie i et de la marchandise l en dollars (coûts des véhicules , coûts de néttoyage et coûts d'évacuation...)

$P_l(l,V,F_r)$: probabilité de blessures des individus exposés à l'incident étant donné l,V et F_r

V : représente la taille du contenaire

F_r : fraction moyenne de la marchandise déversée pour la catégorie de déversement r

A^j : surface d'impact sur le lien j

$(POP)^j$: densité de la population sur le lien j

Q_r^l : fraction des accidents totaux pour le déversement de la catégorie r pour la marchandise l

E^j : taux moyen d'accidents (par mile) pour le lien j

L'utilisation des catégories de déversement est basée sur l'établissement d'une distribution de probabilité discrète pour représenter le profil de la sévérité de l'incident .

Les coûts économiques associés aux problèmes des transport des marchandises dangereuses ont été exprimés par ces auteurs en termes de temps et des coûts directement reliés au véhicule de transport .

Ils utilisent deux fonctions de coûts pour deux sortes de camions :

$$c / tm1 = 3.08 / L + 88.8 / V.L$$

$$c / tm2 = 3.02 / L + 129.38 / V.L$$

avec C: coût, tm: temps, V: vitesse et L: distance à parcourir.

Comme les camions sont les modes les plus utilisés pour le transport des marchandises dangereuses il semble logique d'utiliser ces fonctions de coûts.

Le modéle de décision pour la séléction du parcours optimal se résume comme suit :

On commence d'abord par faire la somme des risques de tous les liens constituants les routes potentielles. Ceci suppose une indépendance des risques entre les liens adjacents. Les coûts et les risques sont supposés constants le long de toute paire origine-destination.

Les variables de décision sont définies comme:

w_{pd}^{l} : le montant de marchandises transportées de p à d

X_{kpd}^{l} : 1 si la k iéme route est séléctionnée pour le transport du matériel l de p à d

0 sinon

La fonction objective est alors de :

$$\text{Minimiser } (w1.C_{pd}^{l} + w2.B_{pd}^{l})$$

Où :

C_{pd}^{l} : est le coût économique du transport de la marchandise l de l'origine p à la destination d

B_{pd}^{l} : est le "coût" du risque pour transporter la marchandise de l'origine p à la destination d

w1,w2 : représentent les coefficients pondérés des deux coûts

La représentation mathématique de la fonction objective des auteurs est la suivante :

C_{pd}^{l} : $\Sigma\ (c/tm)^{l}.w_{pd}^{l}.L_{pd}^{k}.X_{kpd}^{l}$ (Σ sur k)

B_{pd}^{l} : $\Sigma\ B_{pd}^{l}.X_{kpd}$ (Σ sur k)

Où

p : lieu de chargement

d : lieu de déchargement

k : route possible de p à d

$(c/tm)^{l}$: le coût de transport par tonne-mile de chargement pour le type de camion

utilisé

L_{pd}^{k} : la longueur de la k ième route de p à d

B_{pd}^{kl} : le risque de transporter la marchandise l de p à d sur la route k

Les contraintes typiques pour ce genre de modéles sont que toute la marchandise est transportée, ce qui est chargé est reçu et que la capacité de transport n'est pas excédée .

$$\Sigma\, w_{pd}^{l} = V_{p}^{l} \quad (\Sigma \text{ sur } d)$$

$$\Sigma 1\, w_{pd}^{l} = \Sigma 2\, w_{pd}^{l} \quad (\Sigma 1 \text{ sur } p,\ \Sigma 2 \text{ sur } d)$$

$$\Sigma\, w_{pd}^{l} = T_{d}^{l} \quad (d\ D)\ (\Sigma \text{ sur } p)$$

$$w_{pd}^{l} \geq 0 \quad (\text{pour tout l, p et d})$$

où

V_{p}^{l} : le volume de la marchandise qui doit être transporté de l'origine p

T_{d} : la capacité de réception de d

On peut également ajouter d'autres contraintes à ce modèle lorsque la sécurité est impliquée. Par exemple si on veut que la probabilité de blessure n'excède pas une probabilité précise on peut ajouter au modèle la contrainte suivante :

$P_{l}^{lj} \leq S1$ (pour tout l,j)

où

P_{l}^{lj} : la probabilité d'être blessé sur le lien j

S1 : la probabilité acceptable de blessure

Alors les routes sélectionnées pour transporter les marchandises dangereuses sont celles dont la somme totale du coût direct et du risque est minimale.

B)-Critique de la méthode

Cette méthode essaie d'être la plus complète possible dans la mesure où elle incorpore en plus du risque relié au transport de ces marchandises, le coût direct faisant ainsi jouer une relation d'arbitrage entre ces deux composantes. En plus ce modèle peut s'adapter à plusieurs types de marchandises, de liens de routes et de catégories de déversements. La distinction entre les catégories de déversement est faite dans le but de refléter le niveau de gravité de l'accident et des incidences. Ainsi on voit bien ici l'effet petite probabilité / grande conséquence qui est la caractéristique des accidents reliés a ce genre de marchandise. Cette méthode utilise des coûts en terme monétaire pour quantifier les différents types de blessures alors que Transports Canada utilise une mesure non adéquate comme nous l'avons relevé plus haut.

Ce qui est intéressant aussi est qu'on peut ajouter des contraintes au modèle selon nos objectifs de départ. En plus les coûts utilisés sont des coûts sociaux et non privés ce qui évite le problème d'inefficacité de d'allocation optimale des ressources. La seule critique que nous apportons a cette méthode est qu'elle considère les coûts en dollars et non les utilités reliées à ces coûts et qu'elle ne tient pas compte des comportements de prévention.

Notre proposition consisterait alors à transformer le problème de minimisation en :

$$\text{Minimiser } (w1.U(C_{pd}^{l}) + w2.U(B_{pd}^{l}))$$

Au lieu de :

$$\text{Minimiser } (w1.C_{pd}^{l} + w2.B_{pd}^{l})$$

avec U(.) : fonction d'utilité. Et de tenir compte des comportements de prévention.

CONCLUSION

En partant d'un modèle de maximisation de l'espérance d'utilité d'une entreprise de transport de marchandises dangereuses par rapport aux activités d'autoprotection et à la vitesse du chauffeur effectuant le transport nous avons pu dégager des niveaux optimaux de ces deux variables. En analysant l'effet croisé des variables les unes par rapport aux autres nous avons pu démontrer que l'imposition d'une vitesse limite plus élevée a pour effet une augmentation des activités d'autoprotection et de la vitesse du chauffeur de camion. Alors qu'une augmentation de la probabilité spécifique au parcours a un effet positif sur les niveaux d'autoprotection et un effet négatif sur la vitesse du chauffeur.

Cependant lorsqu'on tient compte des externalités, on a pu démontrer que les deux niveaux optimaux obtenus précédemment sont différents des niveaux socialement désirables, ce qui nous a incité à aller chercher, dans la littérature, des mécanismes pouvant remédier à cette inefficacité du marché en présence d'externalités. Les mécanismes proposés sont des réglementations gouvernementales.

Comme nous l'avons évoqué à la fin de la troisième partie, aucune de ces réglementations n'a été particulièrement recommandée car leurs efficacité dépend d'un certain nombre de facteurs importants comme leurs impact global sur l'espèrance d'utilité de l'entreprise.

Mais néanmoins il est bon de remarquer que l'application de n'importe laquelle des réglementations préconisées lorsqu'elle n'a pas d'impact négatif ou nul est une

solution qui peut permettre à la société d'atteindre un niveau de bien être meilleur que celui obtenu avec les solutions du départ.

Un prolongement de ce travail consisterait à chercher les données adéquates à ce modèle et, en utilisant le modèle de choix de parcours préconisé (modèle de McFadden) de voir dans quelle mesure il permet d'atteindre notre objectif initial qui est de sélectionner le parcours socialement optimal. Une autre étude intéressante consisterait à appliquer également les même données éventuelles au modèle de Abkowitz et Der Ming (décrit dans la partie quatre du mémoire) et de comparer les résultats obtenus par les deux méthodes.

Afin de simplifier au maximum le modèle, plusieurs caractéristiques propres au probléme n'ont pas été prises en compte. Parmi les considérations importantes ignorées mentionnons le problème d'asymétrie d'information et le problème de choix d'assurance.

ANNEXE

COMPARAISON : Méthode minimisation de la distance versus Méthode du risque

Mesure de la performance	Cas Minimisation de la distance	Cas Minimisation du risque	Variation en (%)
Risque total	42.884.000	16.336.000	-61.9
Population totale exposée en %	72	38	-47.3
Total des emplois exposés	1.197.000	231.000	-80.7
Circuit	3.543	7.658	+116.1

REFFERENCE : DAN KESSLER "Establishing Hazardous Materials Truck Routes For Shipments Through The Dallas-Forth Worth Areas".

BIBLOGRAPHIE

Abkowitz, M., and Paul D.M. Cheng : "Developing a Risk / Cost Framework for Routing Truck Movements of Hazardous Materials", Accident Analysis & Prevention, Vol. 20, pp.39-51, 1988.

Abkowitz, Eiger et Srinivasan : "Estimating the Release Rates and Costs of Hazardous substances", T.R.R 1984.

Amemiya Takeshi : "Quantitative Response Models: A Survey" Journal of Economic Litterature, vol XIX dec 1981 pp 1483-1536).

Andrews, W.B., et Al. : "Hazardous Materials Transportation Risks in the Puget Sound Region", Report PNL-SA 11019 (1983).

Becker, G.S et Ehrlich J. : "Market Insurance, Self-insurance and Self-protection". Journal of Political Economy, Vol 80, 1972.

Belhadji El Bachir : "Review of The Theoritical and Empirical Models of The Valuation of Life and Safety". Présentation dans le cadre de l'atelier de transport, U.D.M 1989.

Belisle Sylvain et Dionne Georges : "Accéssibilite aux ressources et demande de revasculation du myocarde". Revue Canadienne de Science Economique, 1988.

Ben-Akiva Moshe and Lerman Steven R. : "Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand". MIT Press, 1985.

Blomquist, G. : "Value of Life Saving: Implications of consumption Activity". Journal of Political Economy; 1979 june; 87: pp. 540-558.

Boyer Marcel et Dionne Georges : "La tarification de l'assurance automobile et les incitations à la sécurite routière". Revue Suisse d'Economie Politique et Statistique, 1985.

Boyer Marcel et Dionne Georges : "The Economics of Road Safety " Transportation Research Board, 1987.

Boyer Marcel et Dionne Georges : "The Riskiness of Equivalent Governmental Policies". Mémo Université de Montréal. Cahier N 8319, 1984.

Boyer Marcel et Dionne Georges : "Sécurité routière : efficacité, subvention et réglementation". L'Actualité Economique, 1984.

Der ming Cheng : "Establishing a Risk /Cost Methodology for Routing Truc Shipments of Hazardous Materials." Thèse de Doctorat 1988.

Considine, M. : "Risk Assesment of the Transportation of Hazardous Materials Transportation Research Board, pp. 178-185, 1986.

Dionne Georges et Vanasse Charles : "Automobile Insurance Ratemaking in The Presence of Asymmetrical Information". Cahier 603 C.R.T Université de Montréal.

Dionne Georges : "Moral Hasard and State-dependent Utility Fonction".Journal of Risk and Insurance", 1982.

Dulude Jean : "La réglementation de la sécurite routière au Québec le cas de la ceinture de la sécurité automatique". Mémoire Maitrise U.D.M CRT 1984.

Fiksel J. and Rosenfield D.B. : "Probabilistic Models for Risk Asessment". Risk Analysis, Vol. 2 N . 1, 1982.

Glickman, T. S. : "Rerouting Railroad Shipments of Hazardous Materials to Avoid Populated Areas", Accident Analysis and Prevention, Vol. 15, N . 5, pp. 329-335, 1983.

Hall et Mc Sweeney : "An Assessment of The Risk of Transporting Plutonium Oxide and Liquid Plutonium Nitrate by Truck, Report BNWL-1846, 1975.

Hall R.J : "An Assessment of The Risk of Transporting Plutonium Oxide and Liquid Plutonium Nitrate by Train, Report BNWL-1996, 1976.

IFC Incorporated : "The RCRA Risk-Cost Analysis Model".Phase I, II, III Reports, prepared for office of solid waste U.S Environmental Protection Agency, 1984.

Joy, D.S and Johnson P.E : "Highway , A Transportation Routing Model : Program Description and Revised Users' Manual". Report ORNL/TM-8759, 1983.

Kessler Dan : "Establishing Hazardous Materials Truck Routes for Shipments through The Dallas Worth Area", in "Recent Advances in Hazardous Materials Transportation Research", Transportation Research Board, 1986.

Krishman et Al. : "An Injury Threshold Model for Two Cars Collisions". Management Science, 1984.

Lindgren, B. et Stuart, C. : "The Effects of Traffic Safety Regulation". Journal of Political Economy, Vol.88, pp.412-427, 1980.

McFadden D. : "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior", in Frontiers in econometrics. Edited by Zarembka P. . New York : Academic Press, 1974, pp. 105-42.

McFadden D. : "Econometrics Models of Probabilistic Choice", in Structural analysis of discrete data. Edited by Manski C.F. and Mc Fadden D. . Cambridge, Mass. : MIT Press, 1981.

McSweeney, T.I and Johnson, J.F: "An Assessment of The Risk of Transporting Plutonium Oxide by Cargo Aircraft", Report BNWL-2030, 1976.

Menzie, C.A. : "An Approach to Estimating Probabilities of Transportation-Related

Probabilities of Transportation-Related Spills of Hazardous Materials", Environmental Science and Technology, Vol.13, N 2, pp. 224-228, 1979.

Meslin, T.R. : "Assesment and Management of Risk in the Transport of Dangerous Materials: The Case of Chlorine Transport in France", Risk Analysis, Vol.1, pp.137-141, 1981.

Mishan, E.J. : "Evaluation of Life and Limb: A Theoritical Approach". Journal of Political Economy; 1971; 79: pp. 687-705.

Nicholson : "Microeconomic Theory". Third Edition, 1985.

Pate-Cornell, M. E. : "Fault Trees vs. Event Trees in Reliability Analysis", Risk Analysis, Vol.4, pp.177-186, 1984.

Peltzman S. : "The Effects of Automobile Safety Regulation", Journal of Political Economy, Vol. 83 pp. 677-725.

Pernaud Baghwant N. and Hall Fred L.: "Catastroph Theory and Patterns in 30 second Freeway Traffic Data-implications for Incident Detection".Transportation Research, 1989.

Peterson, B.E. : "A Railroad Routing Model : Program Description and Users' Manual", Report ORNL/TM-8944, 1985.

Philipson et Al. : "Hazardous materials Transportation Risk Assessment, Transportation of Hazardous Materials : Toward a National Stategy". TRB Special Report 197, 43-57, 1983.

Pigou A.C. : "The Economic Of Welfare". 1911.

Pijawka, K. ,D., S. Foote, and A. Soesilo : "Risk Assessment of Transporting Hazardous Material: Route Analysis and Hazard Management", Transportation Research Record 1020, pp. 1-6, 1985.

Rhoads R.E. et Al. : "An Assessment of The Risk of Transporting Gasoline by Truck". Battelle Northwest Lab., Report BNWL-2133, 1978.

Robbins, J. : "Routing Hazardous Materials Shipments". Ph.D Dissertation (Indiana University, Bloomington, IN,) 1981.

Scanlon, R. D. and E.J. Cantilli : "Assessing the Risk and Safety in Transportation of Hazardous Materials", TRR 1020, pp. 6-11, 1985.

Stiglitz J.E & Arnott R.J : "Safety, User Fees, and Public Infrastructure".

Tomachevsky E.G , Ringot C., Pages P. and Hubert P. : "A Validation Study of The Intertran Model for Assessing Risks of Transportation Accidents : Road Transport of Uranium Hexafluoride". Conference on Recent Advances in Hazardous Materials Transportation Research : An International Exchange, pp. 1-12, 1985.

Transports Canada : "Méthode pour la sélection d'un parcours pour le transport des marchandises dangereuses". Direction génerale du transport des marchandises dangereuses, 1987.

Transports Canada : "Transports des marchandises dangereuses", rapports annuels 1987-1988, 1988-1989. TP 7932.